

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE SUELOS



Respuesta fitoquímica de *Lactuca sativa* L., a diferentes fuentes de fertilización y frecuencias de riego en invernadero

Por:

Lesly Gabriela Cruz Pérez

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE SUELOS

Respuesta fitoquímica de *Lactuca sativa* L., a diferentes fuentes de fertilización y frecuencias de riego en invernadero

Por:

Lesly Gabriela Cruz Pérez

TESIS

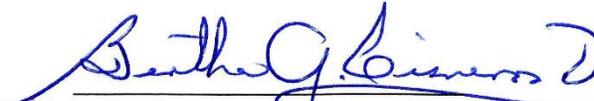
Que se somete a la consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

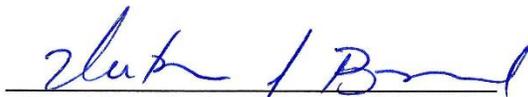
Aprobada por:



Dr. Alejandro Moreno Reséndez
Presidente



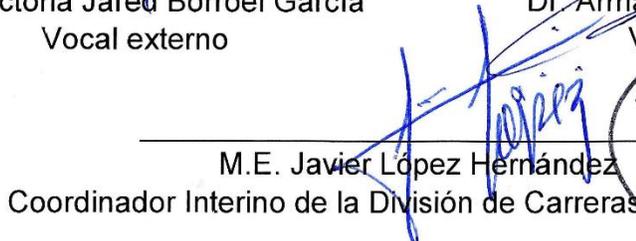
Ing. Bertha Alicia Cisneros Flores
Vocal



Dra. Victoria Jared Borroel García
Vocal externo



Dr. Armando Espinoza Banda
Vocal sustituto



M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE SUELOS

Respuesta fitoquímica de *Lactuca sativa* L., a diferentes fuentes de fertilización y frecuencias de riego en invernadero

Por:

Lesly Gabriela Cruz Pérez

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Alejandro Moreno Reséndez
Asesor principal


Ing. Bertha Alicia Cisneros Flores
Coasesor


Dra. Victoria Jared Borroel García
Coasesor externo


Dr. Armando Espinoza Banda
Coasesor


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por brindarme salud y fortaleza para poder lograr todas mis metas y finalizar esta etapa de mi vida.

A **mi madre** por apoyarme incondicionalmente durante todos estos años de mi carrera.

A **mi padre** por ayudarme a lograr esta meta.

A mi asesor el **Dr. Alejandro Moreno Reséndez** por su amistad, apoyo y paciencia durante los años de mi carrera.

A la **Ing. Bertha Alicia Cisneros Flores** por sus consejos y apoyo en mi formación académica como en la realización de esta tesis.

A mi **Alma Mater** por brindarme en estos años conocimientos, amistades y experiencias inolvidables al formar parte de su institución.

DEDICATORIA

A mi madre la **Sra. Velia Jazmín Pérez Agüero** ya que sin ella este logro no se hubiera cumplido. Por tener siempre seguridad y confianza en todo lo que hacía y ayudarme a concluir mi carrera.

A mi **mamá Rosa** por todo su amor, apoyo y estar siempre presente cuando la necesitaba.

A mi **papá Julio** y **mi tía Gloria**, que a pesar de que ya no están conmigo siempre confiaron en que lograría todo lo que me propusiera.

Cristopher por todo su amor, apoyo y paciencia durante todo el proyecto y realización de esta tesis, por ser la estrella que ilumino mi camino durante estos años de mi carrera y sobre todo por sus palabras llenas de comprensión que me han ayudado a ser la persona que soy.

A mi perro **Pato**, que dejo antes este plano terrenal para iluminar el cielo con la luz del sol y la noche con el brillo de la luna y las estrellas, por amarme en mis mejores y peores momentos, haciéndome compañía en todo momento, aunque ya no pude compartir contigo esta alegría que siento ahora, sé que estas descansando en un mejor lugar.

A **Diego** por su amistad y compañía en el transcurso de este proyecto y enseñarme a saber que es la paciencia.

Per aspera ad astra

RESUMEN

En la investigación se muestran los análisis efectuados para determinar las características fitoquímicas del cultivo de lechuga, desarrollado en sustrato de arena y vermicompost (1:0; 1:1; 1:2; 1:3 y 1:4, relación V: V). en bolsas de 4 L, distribuidas con arreglo de tresbolillo con fertilización de solución nutritiva Steiner y lixiviado de vermicompost a diferentes frecuencias de riego establecidos en invernadero. El contenido total de fenoles se obtuvo por método Folin-Ciocalteu, el contenido total de flavonoides por el método de Cloruro de Aluminio por espectrofotometría de UV, de igual manera por método DPPH la actividad antioxidante. Se uso un diseño experimental completamente al azar y se realizó la prueba de comparación de medias Tuckey_{0.05}. La hipótesis planteada fue que, al realizar fertilización con abonos orgánicos, ésta se podría complementar utilizando fertilizantes inorgánicos e orgánicos líquidos, los cuales no afectarían la calidad fitoquímica del cultivo. También se realizaron análisis de pH, conductividad eléctrica y nitrógeno de los cuales arrojaron resultados a considerar para el buen manejo en cultivos de lechuga bajo condiciones de invernadero.

Palabras clave: Solución nutritiva, Cultivo de lechuga, Fertilización, Invernadero, Análisis fitoquímicos

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Objetivo.....	3
1.3 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Origen	4
2.2 Morfología.....	4
2.3 Semilla y germinación.....	5
2.4 Temperatura.	5
2.5 Riego	6
2.6 Sustrato	6
2.7 Recolección	7
2.8 pH	7
2.9 Conductividad eléctrica.....	8
2.10 Nitrógeno	8
2.11 Variables que influyen en el desarrollo de los cultivos.....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Localización	13
3.2 Material para siembra	13
3.3 Siembra	13
3.5 Riego	13
3.6 Control de malezas	14
3.7 Control de plagas.....	14
3.8 Cosecha.....	14
3.9 Preparación de muestras de sustrato	14
3.10 Obtención de extractos para macroelementos	14
3.10.1 Fósforo	14

3.10.2 Magnesio	15
3.10.3 Calcio.....	15
3.10.4 Sodio	15
3.11 Obtención de extracto para microelementos	15
3.12 Muestras para determinación de capacidad antioxidante, fenólicos y flavonoides.....	16
3.12.1 Capacidad antioxidante por DPPH	16
3.12.2 Fenólicos	16
3.12.3 Flavonoides	16
3.12 Solución nutritiva Steiner	17
3.13 Análisis estadístico	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1 Macroelementos y microelementos	18
4.2 pH	19
4.3 Conductividad eléctrica	20
4.4 Nitrógeno	20
4.5 Materia orgánica	21
4.6 Capacidad antioxidante, polifenoles y flavonoides.....	21
4.6.1 Actividad antioxidante.....	22
4.6.2 Contenido total de polifenoles	22
4.6.3 Contenido total de flavonoides	23
4.6.4 Coeficientes de correlación	24
4.6.5 Consideraciones generales	24
V. CONCLUSIONES	26
LITERATURA CITADA.....	27

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización en lechuga bajo condiciones de invernadero.....	13
Cuadro 2. Cantidades de fertilizantes inorgánicos requeridos en una solución tipo Steiner utilizando 200 mL de agua adaptado para cultivo de lechuga.....	17
Cuadro 3. Determinación total del contenido de macronutrientes en arena y vermicompost.....	18
Cuadro 4. Determinación total del contenido de micronutrientes en arena y vermicompost.....	19
Cuadro 5. Valores promedio y significancia estadística de las variables fitoquímicas del cultivo de lechuga, desarrollado con aplicación de vermicompost, bajo condiciones de invernadero.....	23
Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson para las características fitoquímicas del cultivo de lechuga, desarrollado con aplicación de vermicompost bajo condiciones de invernadero.....	29

I. INTRODUCCIÓN

La producción, distribución e insumo de frutas y hortalizas son cada vez más elevados y siendo así que en la economía agrícola es parte fundamental tanto en el mejoramiento para la salud del consumidor a nivel mundial. Conforme a lo que se pide de calidad en hortalizas está dejando de idealizarse sólo la apariencia que tiene el resultado final (Sánchez, 2010).

La lechuga es un producto hortícola el cual tiene un gran sistema donde puede producirse, se puede ver afectado por los cambios climáticos y/o época del año. (Saavedra *et al.*, 2017). En el caso de la lechuga, Balsam *et al.* (2013), Assefa *et al.* (2019) junto con Preciado-Rangel *et al.* (2022) destaca que es una de las hortalizas de mayor adquisición, principalmente fresco, se emplea como ingrediente base en diversas ensaladas: aporta minerales, vitaminas y compuestos con actividad antioxidante, además de poseer propiedades organolépticas. El conocimiento sobre el contenido fitoquímico en las especies vegetales, como la lechuga, podría resultar de interés para los usuarios y la industria, debido a su vasto empleo en la preparación de ensaladas, a través de las cuales se aportan nutrientes y compuestos fitoquímicos, que promueven la salud (Assefa, 2019).

Balsam, (2013) señala que, ante la promoción del consumo de verduras, por parte de diversas organizaciones de salud, cobra relevancia los esfuerzos realizados, por investigadores, de potenciar los niveles nutricionales de estos productos, por lo cual sigue siendo de gran importancia el evaluar las alternativas que busquen incrementar los contenidos de metabolitos secundarios, en todas las especies consumibles por el hombre. Es necesario tener presente que, la adopción y/o desarrollo de nuevas tecnologías ha incrementado, de manera significativa, la

capacidad del ser humano para afrontar los desafíos de la cada vez más grande escasez de recursos (Dasgan *et al.*, 2023).

1.1 Justificación

El grado de pesticidas y fertilizantes que se manejan en la producción, así como el nivel nutricional de las hortalizas y en que cantidades se encuentran los residuos que pueden ser perjudiciales en la salud del consumidor, son de importancia en las propiedades visibles y alimentarias (Sánchez, 2010).

El modelo naciente en el uso actual de la agricultura sería la disminución o el uso continuo de productos como los agroquímicos sintéticos los cuales tienen un impacto negativo en el ambiente. Con el uso de los nuevos métodos de fertilización biológica natural (Díaz-Franco *et al.*, 2016). Hossain *et al.* (2021) sugieren que la sustitución parcial de fertilizantes químicos por abono orgánico podría ser una opción sostenible para el manejo del N del suelo en sistemas agrícolas intensivos. Atendiendo estas sugerencias, en el presente estudio tanto la Solución Steiner, como el lixiviado de vermicompost (VC) serán empleados como complemento del VC sólido, utilizado como parte del sustrato de crecimiento de la lechuga.

Por otro lado, es ampliamente reconocido en lo que respecta de las enfermedades que afectan al corazón y los vasos sanguíneos junto con la disminución de cáncer se ven índices de mejora con una alimentación complementada de frutas y verduras. La lechuga ha sido una de las principales verduras de hoja consumida en todo el mundo desde la antigüedad. Los efectos promotores de la salud de la lechuga se han asociado con la acción de ciertos compuestos, como el ácido ascórbico, carotenoides, fenoles y minerales (definidos como calidad nutricional). Estudios

recientes han demostrado que la lechuga ayuda a prevenir enfermedades cardiovasculares en humanos (Pérez-López *et al.*, 2015).

1.2 Objetivo

Obtener el potencial antioxidante y el grado nutracéutico de la lechuga desarrollada en mezclas de vermicompost y arena de río complementadas con fertilización de solución Steiner y el lixiviado de vermicompost, aplicados semanalmente, bajo condiciones de invernadero.

1.3 Hipótesis

Mediante el uso de abonos orgánicos podrá suplementarse con fertilizantes inorgánicos y orgánicos líquidos sin colisionar la calidad fitoquímica de las especies vegetales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen

El científico Carlos Linneus en 1753 presento la lechuga en la revista *Species Plantarum*. *Lactuca* nombre que proviene de *lac* que significa “leche”, que refiere a la sustancia de aspecto lechoso o lácteo que salen de los tallos al ser cortados. Con el termino *sativa* refiere que es un epíteto ejemplo a su carácter de especie (Saavedra *et al.*, 2017).

Jiménez, 2015 hace referencia que del Cercano Oriente provienen los orígenes de la lechuga, pero aún no se tiene alguna información exacta que confirme sus antecesores. Esta puede encontrarse en zonas templadas. Popular entre varias civilizaciones, una de ellas, los romanos contaban con entendimiento de diversas variedades, así como en técnicas de cultivo.

2.2 Morfología

L. sativa nombre científico, es una planta anual de la familia Compositae, la lechuga se encuentra compuesta de un sistema radicular profundo, con baja ramificación. Las hojas se forman primero en roseta seguido, se colocan las unas con otras, formando un cogollo que se ve formado dependiendo la variedad. Las hojas suelen ser redondeadas, lanceoladas o espatuladas. Su borde en limbos foliares puede ser liso, ondulado o aserrado, teniendo diversidad (Jiménez, 2015).

Las hojas no contienen un peciolo que sostenga las hojas, ya que se encuentran en espiral, la roseta es compacta en la cercanía de un tallo corto. El crecimiento de la roseta puede seguir en periodo vegetativo, como es en el caso de las lechugas de hoja, sus características son de cabeza redondeada o alongadas como en el caso de Romanas. Existen diferentes tonalidades, aspectos, ejemplares de superficies, márgenes y textura entre las especies de lechuga. El nivel de gama verde puede

variar desde tonalidades oscuras a claras, pero la tonalidad del verde puede ser alterado por una coloración amarillenta. También las diferentes tonalidades se deben gracias a la presencia de antocianina, de las cuales se observan en un área específica o en algunas partes. (Saavedra *et al.*, 2017).

2.3 Semilla y germinación

Es un aquenio expresado en palabras botánicas. Esta embebe agua, la cual acciona mecanismos fisiológicos con los que se comienza la germinación. Primero se desarrolla con la fase de absorción de agua, aquí hidrata las membranas celulares; siguiente inicia el proceso donde la radícula se desarrolla hasta fracturar la testa y el estiramiento comienza cuando la aparición de los cotiledones se presenta. Esta fase desarrolla la elongación y formación de tejidos, conforme el almacenamiento de nutrientes que reservo la semilla junto con la humedad que contenga. Una vez que la plántula emana y recibe luz, es capaz de generar su propio alimento, en este punto las raíces ya se encuentran en la etapa donde pueden asimilar agua y nutrientes sin ningún problema, los cotiledones hacen fotosíntesis hasta la aparición del par de hojas verdaderas (Saavedra *et al.*, 2017).

2.4 Temperatura.

Para tener éxito en este proceso la semilla debe encontrarse entre los 18-20 °C. Para su desarrollo son de 14-18 °C a lo largo del día, por la noche 5-8 °C, ya que los cambios que se dan entre el día y la noche causan alteraciones en el desarrollo. Cuando comienza el acogollado las temperaturas necesarias son en torno a los 12 °C en el día mientras que durante la noche 3-5 °C. No resiste las bajas temperaturas, en todo caso tiene mejor tolerancia a las altas solo hasta 30°C. Se

puede confundir una deficiencia con la tolerancia al frío ya que sus hojas tienden a volverse rojas. (Méndez-Sánchez, 2015).

2.5 Riego

En ningún periodo tolera la sequía, la semilla requiere de absorber el agua suficiente para que pueda iniciar el proceso de germinación para llegar al trasplante, ya que la humedad es el principal factor que ocasiona la eclosión de la semilla para así dar comienzo al metabolismo y dejar el estado de dormancia. (Saavedra *et al.*, 2017).

Asimismo, Saavedra y colaboradores, (2017) destaca que uno de los elementos más importantes en las plantas es el agua ya que para su crecimiento y la fotosíntesis es dispensable y primordial, ayuda también a mantenerse resiliente.

2.6 Sustrato

Cruz creso *et al.*, (2013) menciona el uso de sustrato es todo aquel recurso que tiene las condiciones óptimas para crecimiento y desarrollo, se pueden lograr con un solo material o en complemento con otros, estos son integrados en algún depósito en específico.

La principal causa de que los suelos ya no sean considerados para emplear cultivos son por la reproducción de enfermedades causadas por el suelo en invernaderos cultivados intensivamente. El suelo fue sustituido por una gran variedad de sustratos, ya que están prácticamente libres de agentes nocivos debido a su proceso manufacturado. El continuo cambio a sistemas sin suelo conlleva una calidad y control manipulable por el ser humano logrando así una mejora significativa en el rendimiento de la planta. (Raviv *et al.*, 2008).

La disponibilidad de agua que tiene una planta cuando es cultivada en el suelo la percepción es inmediatamente alta después del riego. Aquí los macroporos

absorben el agua, seguido de una asimilación lenta donde se relaciona entrada de aire en los mismos. El oxígeno, que es consumido por las raíces, relacionado a un flujo donde es más tardío de lo que requiere la planta. A medida que el agua se drena o se pierde debido a la evapotranspiración, la porosidad es tal que el oxígeno atmosférico se dirige hacia la raíz. Al mismo tiempo, se retiene algo de agua mediante fuerzas matriciales del suelo que aumentan gradualmente, en esta situación el nivel de energía que necesita incrementa. El contrario de los sustratos casi todos contienen una fácil asimilación en la disponibilidad de los recursos. (Raviv *et al.*, 2008).

2.7 Recolección

Méndez-Sánchez (2015), menciona no efectuar corte durante el inicio de la mañana o después de que se presente un diluvio ya que la planta se encuentra sensible por humedad y contenido de agua, cabe considerar que si se presenta una helada esta se vuelve más frágil. Estableció que al tener el punto de madurez dependiendo de cuando se efectuó el trasplante, el cultivo puede durar de 55 a 110 días, sin olvidar la variedad que se utilizó ya que los factores se consideran a vista y tacto. Estos cuidados repercuten en la post-recolección ya que ahí se comprueba la duración de la conservación de su estado fresco.

2.8 pH

Es una característica química de gran relevancia ya que denota que tan ácida o alcalina es la preparación que posee una o más sustancias químicas solubles que se encuentren diluidas en agua. Estima que contiene un negativo de la actividad de los protones (H^+). Aquí es donde las raíces y los microorganismos asimilan los

nutrientes. El pH Oscila entre 4.0 a 8.0. Si este se encuentra <7 se toman como ácidos, si es >7 se consideran alcalinos (Osorio, 2012).

2.9 Conductividad eléctrica

Medida que indica de manera colateral la concentración de sales, mayormente estas se encuentran disueltas, lo cual tiende a ser muy baja pero nunca nula. Pueden ser útiles para los organismos porque al encontrarse disueltas en agua son más fáciles de asimilar. Sin embargo, en altas cantidades se puede ver perjudicado el crecimiento como la función de los microorganismos. El material que se llegue a utilizar también hace ocasione una amplia diferencia que depende de varios factores. (Cremona y Enríquez, 2020).

2.10 Nitrógeno

El N_2 es el elemento que se encuentra mayormente en los gases que conforman la atmosfera, pero este se localiza en forma de gas inerte, las plantas no lo manejan de manera directa por lo que se procesa en forma de iones de nitrato como amonio. De los dieciséis elementos que se componen para el óptimo desarrollo y crecimiento de las plantas sin olvidar que también influye la especie, etapa fenológica, entre otros, este se encuentra como uno de los más importantes (Cárdenas-Navarro y colaboradores, 2004).

2.11 Variables que influyen en el desarrollo de los cultivos

Actualmente es muy renombrado que el consumo de los fertilizantes orgánicos, en lo que conlleva el crecimiento de la planta, desencadena una gran cantidad de bajas y altas. En relación con malos resultados, los principales argumentos Armenta-Bojorquez y colaboradores. (2010), resalta que aunque se mostró un vigor menor al 50 %, su aplicación produjo un impacto ambiental contraproducente: donde

productos originan la contaminación de mantos acuíferos con nitrato, el aumento de sustancias nutritivas, el calentamiento global, la lluvia ácida, así como niveles altos de contaminación, aumento de compactación y salinidad, descenso de la materia orgánica y de la microbiología de los suelos, afectando el rendimiento, calidad de fruto, la rentabilidad y productividad (Roblero-Ramírez *et al.*, 2014; Orozco-Corral *et al.*, 2016). Respecto a los segundos Durán-Umaña y Hernández-Hernández (2010) y González-Márquez *et al.* (2021), acentúan que en el contenido de los abonos orgánicos tienen altos niveles de macroelementos y microelementos que son importantes en varios niveles, siendo así que sus contenidos de material por tonelada consistirá principalmente de la disponibilidad de la materia prima para su preparación y cuanta de humedad contiene el material, cuando el proceso de transformación se concluye, se señala que en estos componentes se tienen densidades mínimas de ingredientes nutricionales por tonelada, y señalan asimismo Ramos-Agüero y Terry-Alfonso (2014), que además de ayudar en el crecimiento de las plantas, generan óptimos resultados sobre la optimización de distintas propiedades en los suelos.

Peña *et al.* (2013) mencionan que la aparición de las complicaciones que se localizan, como lo es la disminución en la fertilidad innata, salinidad, y el desgaste, esto hace la indagación hacia la mejora de las tecnologías que son efectuadas para el desarrollo y la producción de las especies vegetales. Aquí se busca disminuir las consecuencias negativas que provocan sobre el ambiente estos productos nocivos que afectan también la integridad, se propuso la utilización de producir de manera orgánica u orgánica-mineral que anule o disminuya el consumo de fertilizantes, insecticidas, herbicidas, etc. Esta fertilización genera una gran variedad de

beneficios, como lo son la asignación, almacenaje, aireación, drenaje de agua, siendo así que, disminuye en los diferentes cambios de temperatura que entorpecen en el transcurso de captación de nutrientes de las plantas (da Cruz Bento *et al.*, 2020).

En particular el compost que provienen de la vegetación y animales sobresalen, los biofertilizantes, la composta (C), el vermicompost, etc. Con estos componentes han sido adquiridos como elecciones nutritivas que complementen a los cultivos para así aminorar altamente la aplicación de síntesis industrial, abonos inorgánicos o de costos variables en la producción. (Armenta-Bojorquez y colaboradores, 2010; Ramos-Agüero y Terry-Alfonso, 2014). Adicionalmente, Elmi *et al.* (2019) destacan que los consumidores de productos orgánicos los percibieron como saludables, seguros y ecológicos. Recientemente se ha determinado que estos abonos naturales, suscitados en adelante de varios residuos orgánicos que contienen características, a partir del punto de vista físico, químico y microbiológico, donde este beneficia el incremento de las especies vegetales, sino también aumentan la optimización de las condiciones del medio o sustrato donde en donde progresa el cultivo, acarreado resultados favorables en la disposición de la manufactura agrícola (Félix-Herrán y colaboradores, 2010; Zaragoza-Lira *et al.*, 2011; Abul-Soud *et al.*, 2012). Al igual con el empleo de sustancias acuosas, VC, de manera directa o indirecta, elevan la productividad y cantidad del producto final, siendo que genera aspectos buenos en la condición, nutrientes y rentabilidad, optimizando sus poblaciones benefactoras microbianas, la disposición nutricional con la que cuentan las plantas de donde adquieren sus defensas. Aguilar-Benítez y colaboradores (2012) estipularon un aumento analizado de semillas y otras variedades, indistinto

a su producción y la existencia de saturación, se vio beneficiado gracias al VC, ya que utilizándolo se proporcionan mezclas, como los son las fitohormonas, ácidos húmicos y actividad microbiana, de donde surge el favorecimiento del desarrollo y crecimiento. En cambio, Preciado-Rangel *et al.* (2014) concluyeron que el lixiviado de VC, generó resultados estadísticamente similares a la solución nutritiva inorgánica, describe otra opción sostenible produciendo forraje verde hidropónico en maíz de zonas áridas.

En cambio, con el paso del tiempo, las especies vegetales han generado diferentes métodos de protección impidiendo un impacto de los factores bióticos y abióticos. Una estrategia empleada es la elaboración de compuestos sintetizados no esenciales, (metabolitos secundarios) estos contienen actividad antioxidante y antimicrobiana (Solís-Silva y colaboradores, 2018). Los reconocidos antioxidantes con disposición para contrarrestar moléculas inestables, es otra alternativa para afrontar deficiencias que estén relacionadas con los pocos antioxidantes, que causan cardiopatía, molestias en articulaciones y decadencia en la salud. (Mercado-Mercado *et al.*, 2013). En este sentido, el uso de fitoquímicos, que contienen propiedades antioxidantes, que se encuentran en alimentos que son consumidos día con día, contribuye en la adquisición de tener los suficientes nutrientes que necesita el ser humano para tener una condición óptima para la realización de actividades las cuales conllevan a una mejor condición física y de salud donde se mantienen alejadas las probabilidades de contraer algún tipo de enfermedad venérea, en el caso de las mujeres en específico ayuda a no tener un alto impacto en la menopausia. (Delgado-Olivares y colaboradores, 2010; Luna-Guevara y Delgado-Alvarado, 2014). Finalmente, y como apoyo a la decisión de evaluar el uso

de la composta sobre el contenido antioxidante en las especies hortícolas, Alizadeh *et al.* (2010) y Luna-Guevara y Delgado-Alvarado (2014), han destacado que, la biosíntesis de los MS, en las especies vegetales, está fuertemente influenciada por los factores ambientales.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

El estudio se desarrolló en las instalaciones UAAAN Unidad Laguna con dirección Periférico Raúl López Sánchez Km 2 y Carretera a Santa Fe. Dentro de un invernadero localizado en las coordenadas 25° 33' 25.9" N 103° 22' 21.3" W. Durante el ciclo otoño-invierno del año 2022.

3.2 Material para siembra

Se utilizaron bolsas tipo vivero de 4 L para realizar la siembra de las lechugas, las cuales se rellenaron con arena y vermicompost (1:0; 1:1; 1:2; 1:3 y 1:4, relación V:V) y fueron distribuidas con arreglo de tresbolillo. Se evaluaron tres tratamientos de los cuales VC, LVC se aplicó 1 por semana en cantidad de 250 mL y Solución Nutritiva Salina con riegos de tres veces por semana en riegos de 250 mL.

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización en lechuga bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Relación V:V	Complemento de fertilización
Testigo (T0)	1:0	SNS
VC:AR (T1)	1:1	SNS
VC:AR T2)	1:2	SNS
VC:AR (T3)	1:3	LVC
VC:AR (T4)	1:4	LVC

VC:AR= Vermicompost y Arena de río; SNS= Solución nutritiva Steiner; LVC= Lixiviado de vermicompost

3.3 Siembra

Se utilizó siembra directa efectuada el día del 17 de septiembre.

3.5 Riego

Se comenzó el riego con Solución Nutritiva Steiner y lixiviado de VC, el sábado 3 de diciembre del 2022. Se efectuó riego diario de SNS en el testigo, mientras que en los demás tratamientos de lixiviado de VC y SNS se mantuvo riego solo de agua dos veces por semana.

3.6 Control de malezas

Se realizó dos veces por semana y de manera manual.

3.7 Control de plagas

En el control de mosquita blanca para su control se utilizó 1 mL por litro insecticida, con ingrediente activo (IA) de Imidacloprid (E)-1-(6-cloro-3-piridilmetil)-N-nitroimidazolidin-2-ilideneamina. Por la densidad poblacional de la mosquita se aplicó dos veces por semana. Durante cuatro semanas se presentó una infestación leve de araña roja, para su control se aplicó el mismo insecticida.

3.8 Cosecha

Se realizó en tres etapas de cosecha debido a los cambios de temperatura en algunas plantas se presentó el efecto orilla. La primera cosecha se realizó el 23 de febrero, la segunda el 25 de febrero y la última el 13 de marzo del año 2023.

3.9 Preparación de muestras de sustrato

Se recolectaron aproximadamente 1 kg de arena y VC, se dejaron secar durante 24 horas.

3.10 Obtención de extractos para macroelementos

Para la realización de la obtención de los extractos para macroelementos se efectuaron en UAAAN Unidad Laguna en el laboratorio de suelos.

3.10.1 Fósforo

Se pesaron 0.5 g de VC y 2.5 g de arena, cada muestra se vació en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, se añadieron 50 ml de NaCO_3 , (solución extractora)

colocándolos en el agitador mecánico Reciprocating Shaker 6010, media hora y finalmente se filtró.

3.10.2 Magnesio

Se agregaron 3 ml del extracto de VC y 5 ml de arena en matraces de proporción 500 mL, posteriormente se añadieron 5 ml de agua destilada y dos gotas de negro de eriocromo T (NeT) y 1 ml de solución de Buffer.

3.10.3 Calcio

Se agregaron 3 ml del extracto de VC y 5 ml de arena en matraces con capacidad de 500 ml, además cinco gotas de indicador Dietil ditio carbamato de sodio al 1 %, cinco gotas de hidróxido de sodio y 1 pizca de Murexida.

3.10.4 Sodio

Se determinó con los resultados de Ca+Mg

3.11 Obtención de extracto para microelementos

Para la realización de la obtención de los extractos para macroelementos fueron elaborados en la UAAAN Unidad Laguna del laboratorio de suelos. Se pesaron 2.0 g de VC y 4 g de arena, se colocaron en matraces Erlenmeyer de 250 mL, se añadieron 15 ml de cloruro de bario. Colocándolos en el agitador, por 1 hora, y se dejaron reposar 24 horas. Pasadas las 24 horas se filtraron al vacío, posteriormente se enjuago con cloruro de bario que se añadió al extractor al igual con 60 ml de metanol. Al final se quitó el papel filtro y se coloca cada uno en un matraz junto con 100 ml de solución saturada de yeso, se cubrieron y se colocaron en el agitador por media hora.

3.12 Muestras para determinación de capacidad antioxidante, fenólicos y flavonoides

Las muestras fueron realizadas en el laboratorio de la Universidad Politécnica en Gómez Palacio. Se seleccionaron de tres a cuatro lechugas por tratamiento.

3.12.1 Capacidad antioxidante por DPPH

Se preparó una solución madre, agregando 12 mg del reactivo DPPH en 50 mL de metanol. Se deja reposar en oscuridad por 24 horas a partir de ahí se ajusta la solución DPPH tomando una pequeña muestra y colocándola en el espectrómetro de UV a 1.1 ± 0.002 a 515 nm y de 1.098 o 1.102. Para analizar se agregaron 150 mL de la muestra más 2850 mL de DPPH y se lee en espectrómetro de UV a 515 nm.

3.12.2 Fenólicos

Se utilizaron 50 μ l de muestra con 30 mL de agua ultra pura (mQ) y 250 μ l de reactivo folinciocalteu, para agitarlo se colocó en vortex. Pasados los de 3 minutos se añadieron 750 μ l de agua ultra pura (mQ) y nuevamente se puso en el vortex. Por 2 horas se aisló en oscuridad y a 760 nm fue la unidad de medida. La solución madre es $C_7H_6O_5$ (ácido gálico) disuelto en C_2H_5OH (etanol absoluto). El rango de concentración de la recta patrón: $1.0-0.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$.

3.12.3 Flavonoides

Se utilizaron 250 μ l de muestra con 1.25 mL de agua mQ y 75 μ l de NaNO_2 5% y se agito en vortex, se dejó 5 minutos de reacción. Pasados los 5 minutos se agregaron 150 μ l $\text{AlCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ al 10 % y se agito en vortex y se dejó 6 minutos de reacción. Después se agregaron 500 μ l NaOH 1M con 275 μ l de agua mQ y se agito

en vortex, el nivel de medición fue 510 nm. El estándar es C₁₅H₁₀O₇ (quercetina) diluida en C₂H₅OH (etanol absoluto). El rango de concentración de la recta patrón: 0.5-0.0 mg•mL⁻¹.

3.12 Solución nutritiva Steiner

Para la realización de la solución nutritiva se emplearon los materiales y las cantidades que se describen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Cantidades de fertilizantes inorgánicos requeridos en una solución Nutritiva Steiner, utilizando 200 mL de agua. Adaptado para cultivo de lechuga.

Tipo de fertilizante químico	g•200 L ⁻¹
32 N3F0 potasio	24.60
MAP Soluble	18
Nitrato de potasio	70.36
Nitrato de calcio	36.6
Sulfato de magnesio	48.62

3.13 Análisis estadístico

De los tratamientos de VC, SNS y lixiviado de VC se tomaron cuatro lechugas al azar, para un total de 16 por tratamiento a excepción del testigo que se tomaron las 12 muestras para su análisis en contenido total de fenoles, contenido total de flavonoides y actividad antioxidante donde se empleó un diseño experimental que fue completamente al azar. Los resultados de las variables del estudio se usaron para un análisis de varianza y en comparación de medias se empleó la prueba Tuckey con un nivel de significancia $p \leq 0.05$ también se empleó análisis de correlación de Pearson. Se analizó pH, nitrógeno, MO y conductividad eléctrica para considerar los factores químicos de los sustratos utilizados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Macroelementos y microelementos

En los componentes del macro como los son los elementos pesados y varios traza, se busca que sean adquiridos de una manera pura, ya que estos son primordiales encontrarse en el cuerpo, implicando diversos efectos y rol fisiológico. Por otra parte, los metales pesados, que arriban en la combinación que se encuentra en los comestibles entre los medios antropogénicos (uso desmedido de químicos) o por fenómenos naturales pertenecientes a la naturaleza y no se relaciona con ninguna labor en el sistema, ocasionando daños a la vitalidad. (Montelongo, 2018).

Cuadro 3. Determinación total del contenido de macroelementos en arena y vermicompost

Macroelementos	Arena	Vermicompost
Ca (meq•L ⁻¹)	10.4	23.3
Mg (meq•L ⁻¹)	7.6	26.7
Na (meq•L ⁻¹)	1	31
P (ppm)	7.8	290
K (ppm)	0.20	1.07

Según Espinoza y Slaton, (s/f), entre los macronutrientes que resultan de alta importancia en las plantas para que estas tengan un desarrollo favorecedor se encuentran el potasio (K) y el fósforo (P), sin olvidar que el nitrógeno también se encuentra en la lista de los tres elementos de relevancia en cuanto a contenido de los macros. Se ha suscitado que, en estos componentes a diferencia del Zn, Fe, B entre otros micro, al someterlos en análisis de fertilización los resultados no se observan fácilmente cuando estos son en niveles de ≥ 36 ppm y arriba de los 75 ppm en vegetales siendo que en P no son usuales en respuesta a la fertilización de los niveles señalados. Los efectos en K no se captan cuando son 175 ppm. Por lo que en los resultados obtenidos arroja que los macronutrientes se encuentran por debajo

del rango determinado en potasio del cual en arena es de 0.20 ppm, en VC 1.07 ppm, fosforo 7.8 ppm en arena, mientras que en VC 290 ppm sobrepasando lo mencionado anteriormente.

Cuadro 4. Determinación total del contenido de microelementos en arena y vermicompost

Microelementos	Arena	Vermicompost
Cu	0.20	0.45
Fe	1.79	1.35
Zn	0.94	$0.92\frac{1}{3}$
Mn	0.74	1.26

Villegas-Torres *et al.*, (2015) menciona que los procesos que determinan la ganancia de metales pesados no han sido esclarecidos siendo así que no se encuentra algún punto de partida donde se pueda comparar con certeza los resultados declarados, sin embargo, se cuenta con un numero considerable de genes reconocidos donde compilan movimientos latentes.

Espinoza y Slaton (s/f) señalan que en los micro se localizan índices de análisis que a excepción del zinc no tienen relación negativa en cuanto a la aplicación de fertilización. Niveles muy altos de micronutrientes señalan que no específicamente la planta se verá perjudicada por toxicidad del micronutriente en sí. Por lo que, al igual con los macronutrientes, se sostienen debajo del rango establecido.

4.2 pH

Se mandó a analizar muestra de un litro de lixiviado de VC, junto con muestras de 1 kg de arena y VC al laboratorio de suelos de la UAAAN Unidad Laguna, los resultados fueron de un pH total de 7.94 en arena y 8.14 en VC. Mientras que en lixiviado de VC se registró un pH de 8.34 por lo que se menciona que si tiene índices

menores a 5 resulta ser muy ácido, para ser catalogado como un pH neutro debería encontrarse entre los 6 y 7 lo que esto establece que se mantiene en un rango neutro en el caso de arena, por otro lado, en VC fue ligeramente alcalino (Molina, 2007). Siendo así que los índices de pH mayormente de todos los sustratos se encuentran en un lapso de 6.0-8.5 que especifican el margen de pH para sostener su afinidad con los cultivos. (Ansorena *et al.*, 2014).

4.3 Conductividad eléctrica

Los estudios analizados se efectuaron en la UAAAN Unidad Laguna en el laboratorio del área de suelos. Arrojando resultados de conductividad eléctrica en arena de $9.54 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, $9.96 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ en el VC y $10.88 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ en lixiviado de VC. Ansorena *et al.* (2014) mencionan que el rango para Cu y Zn son de 100 a 200 y de 400 a 600 correspondientemente por lo que se mantiene por debajo del margen establecido, aunque con una predisposición de exceder los límites establecidos, específicamente en los resultados obtenidos de CE y potasio en el VC mezclado con otro sustrato. Los rangos que se encuentran establecidos que son ($500\text{-}600 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en este último componente se ubican bajos a valores positivos asimismo de los límites recomendados.

4.4 Nitrógeno

La siguiente determinación fue realizada en la UAAAN Unidad Laguna en el laboratorio de suelos. Los resultados arrojaron en el VC 0.78 %, en arena 0.014 %, y en lixiviado de VC 0.028 %. Sánchez *et al.* (2002) mencionan que existe una alteración en la captación del nitrógeno de la cual se encuentra relacionada con diversas variables. Por ejemplo, los ciclos, en verano se aproxima a la percepción >90% y en otoño-invierno varía, siendo así que no excede el 50% de la máxima

absorción. Al establecer lechuga en temporada de otoño-invierno, se confirma que los resultados fueron variables tanto en los sustratos de VC y arena, al igual que en los tratamientos donde se aplicó como complemento el lixiviado de VC.

4.5 Materia orgánica

En UAAAN unidad laguna se desempeñaron los análisis presentados en el área del laboratorio de suelos. El material que compone una composta completamente orgánica se conforma de residuos de plantas en su mayoría, al igual que de animales, estos son añadidos al suelo o usados en recipientes, la cantidad se expresa en porcentaje. Esta incrementa diversos factores de gran importancia, de los cuales sobresalen las propiedades físicas y químicas, favoreciendo el crecimiento de las plantas. Cuando los sustratos contienen un valor menor al 2% se dispone a señalar que contiene niveles bajos, en el caso de encontrarse entre 2 a 5 % se considera un contenido medio, si es mayor a 5% se establece que es un valor recomendable. (Molina, 2007).

En arena se obtuvo un 0.3915 % que resulta muy pobre para la nutrición adecuada que requieren las plantas. Por el contrario, en el VC se registró un 20.1430 %, el cual representa un contenido óptimo, para un desarrollo adecuado de los cultivos, considerando también que índices menores al 30% generalmente señalan que el VC está mezclado con arena, tierra, cenizas u otro compuesto mineral. Resultados sobresalientes al 60 % indican que los residuos no están lo bastante compostados (Molina, 2007).

4.6 Capacidad antioxidante, polifenoles y flavonoides

La lechuga resulta ser de las hortalizas de hoja de mayor ingesta fresca por las personas debido a que es rica en ácidos grasos, aminoácidos, fibra, proteínas y

minerales, además de aportar, cantidades significativas de compuestos fitoquímicos, los cuales poseen propiedades antioxidantes (Buendía-García *et al.*, 2021). Derivado de los ANDEVAs (cuadro 5) y la comparación de medias se determinó que solo el CTP resultó estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$), por resultado de los tratamientos evaluados del presente estudio, los mayores valores se registraron en los T0 y T4, con 0.213 y 0.238 mg EAG \cdot g $^{-1}$ PF, respectivamente.

4.6.1 Actividad antioxidante

La AA en el cultivo de lechuga, sin registrar diferencias estadísticas, osciló entre 591.46 y 1006.94 mg ETrolox \cdot g $^{-1}$ PF, superó ampliamente a la mayor AA, 1.15 mg ETrolox \cdot g $^{-1}$ PF ($P \leq 0.05$), determinada en el cultivo de lechuga, fertilizada con solución nutritiva Steiner más aplicaciones de selenio al follaje, desarrollado bajo condiciones de invernadero (Buendía-García *et al.*, 2021).

Por otra parte, López-Martínez (2017) menciona que al tener una correlación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales en comparación con los resultados del 65% de la capacidad antioxidante es preciso al índice de compuestos fenólicos y del uso de potasio.

4.6.2 Contenido total de polifenoles

Los CTP del cultivo de lechuga, registró valores entre 0.213 y 0.238 mg EAG \cdot g $^{-1}$ PF, que resultaron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$), fueron determinados en los tratamientos T0 y T4, respectivamente, y fueron ampliamente superados por el mayor valor, 1.65 mg EAG \cdot g $^{-1}$ PF ($P \leq 0.05$), reportado por Buendía-García *et al.* (2021) para el cultivo de lechuga fertilizada con solución nutritiva Steiner combinada con aspersiones foliares de selenio y desarrollada bajo condiciones de invernadero.

4.6.3 Contenido total de flavonoides

Respecto al CTF los resultados adquiridos en el presente estudio, que oscilaron entre 3.81 a 12.55 mg EQ•g⁻¹ PF, superaron ampliamente al mayor CTF, 3.75 mg EQ•g⁻¹ PF, reportado por Buendía-García *et al.* (2021).

Cuadro 5. Valores promedio y significancia estadística de las variables fitoquímicas del cultivo de lechuga, desarrollado con aplicación de vermicompost, bajo condiciones de invernadero

Tratamiento	AA ^{ns} (mg ETrolox•g ⁻¹ PF)	CTF ^{ns} (mg EQ•g ⁻¹ PF)	CTP* (mg EAG•g ⁻¹ PF)
T0	751.01	12.55	0.213 a
T1 (VC:AR)	950.52	10.29	0.065 b
T2	678.51	7.96	0.173 ab
T3	591.46	12.55	0.118 ab
T4	1006.94	3.81	0.238 a

AA = Actividad antioxidante; CTF = Contenido Total de Flavonoides; CTP = Contenido Total de Polifenoles; ns, * = No significativo y significativo.

López-Martínez (2017) menciona que dentro de lo establecido en el contenido fenólico que se encuentra en las plantas influye el hecho de donde se encuentre establecido el cultivo, sin olvidar tomar en cuenta que la concentración que se refleja en los fenólicos totales como individuales, al igual en los flavonoides y ácidos fenólicos, dependen mucho de estas circunstancias. Los resultados son simultáneos por que corroboran que existe una correlación en la absorción de potasio y en los contenidos de compuestos fenólicos contemplando de manera positiva la correlación. Esta relación en respuesta del incremento del nivel de potasio hace referencia a un incremento lineal en el contenido fenólico.

De acuerdo a Ramírez-Aragón *et al.* (2019) respecto a la acumulación de K se observa que, a mayor cantidad de K esté utilizable para la planta la concentración de CFT se vea optima. Hernández-Rivadeneira *et al.* (s/f), mencionan que, en

cantidades de poder reductor, tanto en polifenoles totales y en flavonoides totales se obtuvo mayores índices donde se aplicó fertilizante sintético, seguido de las plantas donde se aplicó compost. Los valores bajos se obtuvieron en el sustrato donde no hubo aplicación de abono o fertilizante.

4.6.4 Coeficientes de correlación

Los coeficientes de correlación de Pearson (R^2) (cuadro 6) se determina la variabilidad fitoquímica del cultivo, aplicando VC, en invernadero. Se observa que entre las variables que se evaluaron las correlaciones registradas presentaron grados negativos de relación lineal, de carácter bajo y muy bajo. Entre las variables AA vs CTF y CTP los valores fueron -0.215 (correlación negativa baja) y -0.112 (correlación negativa muy baja) y entre CTF vs CTP -0.370 (correlación negativa baja), (González-González, 2009).

Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson para las características fitoquímicas del cultivo de lechuga, desarrollado con aplicación de vermicompost, bajo condiciones de invernadero

		Actividad Antioxidante	Contenido Total de Flavonoides	Contenido Total de Polifenoles
Actividad Antioxidante	Correlación de Pearson	1	-0.215	-0.112
Contenido Total de Flavonoides	Correlación de Pearson	-0.215	1	-0.370
Contenido Total de Polifenoles	Correlación de Pearson	-0.112	-0.370	1

4.6.5 Consideraciones generales

Las variaciones en los contenidos fitoquímicos en los estudios descritos previamente se pueden atribuir tanto a las diferentes variedades, como a diversos factores, como son: las condiciones ambientales – clima, temperatura, humedad

cantidad de horas luz; el manejo agronómico del cultivo (prácticas de labranza, fertilizantes); así como los métodos de procesamiento y las condiciones de almacenamiento de los frutos (Al Juhaimi *et al.*, 2020).

V. CONCLUSIONES

Al tener valores altos en MO gracias a la utilización de la combinación de arena de río y vermicompost mejora varias de las propiedades en la utilización de sustratos. La actividad antioxidante resultó elevada cuando se emplearon, tanto la solución Steiner, como el lixiviado de VC. Esta actividad y el contenido de K favorecieron los contenidos de polifenoles y flavonoides de la lechuga. Con respecto al N, presente en los sustratos de desarrollo, los contenidos de flavonoides y polifenoles registraron pequeñas variaciones, las cuales están asociadas con la época de siembra, que se utilizó en el presente estudio y que corresponde a otoño-invierno. Siendo así que se deben de considerar las cantidades de los compuestos de fertilización inorgánica para evaluar que sean las dosis correctas y obtener buenos resultados.

LITERATURA CITADA

- Abrol, I.P., Yadav, J.S.P., and Massoud. I. 1988. Salt affected soils and their management. FAO Soils Buletin Pag 39.
- Abul-Soud, M. A., Emam, M. S. A., & Abdrabbo, M. A. A. (2012). Comparison among different compost sources and rates for cucumber production under unheated plastic houses. *J. BioL Cltem: Environ. Sci.* 7(4): 223-241.
- Aguilar-Benítez, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, J. R., Ramírez-Vallejo, P., Benedicto-Valdés, S. G., & Molina-Galán, J. D. (2012). Yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in relation to substrate vermicompost concentration and water deficit. *Agrociencia.* 46(1):37-50.
- Al Juhaimi, F., Özcan, M.M., Uslu, N., Ghafoor, K., Babiker, E.E., Mohamed Ahmed, I.A., 2020. Bioactive properties, fatty acid compositions, and phenolic compounds of some date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. *Journal of Food Processing & Preservation.* 44(5): 1-8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14432>.
- Alizadeh, A., Khoshkhui, M., Javidnia, K., Firuzi, O., Tafazoli, E., & Khalighi, A. (2010). Effects of fertilizer on yield, essential oil composition, total phenolic content and antioxidant activity in *Satureja hortensis* L. (Lamiaceae) cultivated in Iran. *J. Med. Plant. Res.* 4(1): 33-40.
- Ansorena, J., Batalla, E., & Merino, D. (2014). Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos. *Escuela Agraria Fraisoro.* Disponible en: https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/140711evaluar_compost_ansorena.
- Fecha de recuperación: 12 de mayo de 2024

- Armenta-Bojorquez, A., García-Gutierrez, C., Camacho-Báez, J., Apodaca-Sánchez, M., Gerardo-Montolla, L. y Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*. 6 (1): 51-56.
- Aruani, M. C., Gili, P., Fernández, L., Junyent, R. G., Reeb, P., y Sánchez, E. (2008). Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, Neuquen-Argentina. *Agro sur*. 36(3): 147-157.
- Assefa, A.D., Choi, S., Lee, J.-E., Sung, J.-S., Hur, O.-S., Ro, N.-Y., Lee, H.-S., Jang, S.-W., Rhee, J.-H. (2019). Identification and quantification of selected metabolites in differently pigmented leaves of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars harvested at mature and bolting stages. *BMC Chemistry*. 13(1): 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13065-019-0570-2>.
- Avio, L., Sbrana, C., Giovannetti, M., Frassinetti, S., 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi affect total phenolics content and antioxidant activity in leaves of oak leaf lettuce varieties. *Scientia Horticulturae*. 224, 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.022>.
- Baslam, M., Esteban, R., García-Plazaola, J., Goicoechea, N., 2013. Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of major carotenoids, chlorophylls and tocopherol in green and red leaf lettuces. *Applied Microbiology & Biotechnology*. 97(7), 3119-3128. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4526-x>.
- Buendía-García, A., Lozano-Cavazos, C.J., Rodríguez-Ortiz, J.C., Carballo-Méndez, F.J., Moreno-Reséndez, A., Sariñana-Navarrete, M.A., Preciado-Rangel, P. (2021). La biofortificación con selenio mejora la calidad nutracéutica y la capacidad

antioxidante de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 8(3): 1-8. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3104>.

Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J. M., Farías-Rodríguez, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. Revista Chapingo Serie Horticultura. 10(2): 173-178.

Carnicer, S., Shindoi, M. M. J., Delfino, M. R., & Leconte, M. C. (2020). Contenido de antioxidantes totales y clorofila en lechuga bajo fertilización orgánica con compost.

Castellanos, J., Uvalle-Bueno, J., y A, A. S. *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. México: Instituto de capacitación para la productividad agrícola.

Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). *Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento*. EEA Bariloche: Gob.ar. Recuperado el 12 de mayo de 2024, de

https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7709/INTA_CRPatagoniaNorte_EEABariloche_Cremona_MV_Algunas_Propiedades_Del_Suelo_Que_Condicionan_Su_Comportamiento.pdf?sequence=2/1000

Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Sandoval-Villa, M., Bugarin-Montoya, R., Robles-Bermúdez, A., y Juárez-López P. (2013). Sustratos en la horticultura. CONACYT.

Da Cruz-Bento, B. M., Cabral França, A., Gomes Oliveira, R., Tadin Sardinha, L., & Soares Leal, F. D. (2020). Organic fertilization attenuates heat stress in lettuce cultivation. Acta Agronómica. 69(3): 219-227. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.8426>

Dasgan, H.Y., Yilmaz, D., Zikaria, K., Ikiz, B., Gruda, N.S.- (2023). Enhancing the Yield, Quality and Antioxidant Content of Lettuce through Innovative and Eco-Friendly Biofertilizer Practices in Hydroponics. Horticulturae 9, 1274. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/horticulturae9121274>.

- Delgado-Olivares, L., Betanzos-Cabrera, G., & Sumaya-Martínez, M. T. (2010). Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo. *Investigación y Ciencia*. (50): 10-15
- Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo, M., Alejandro-Allende, F., & Ortiz-Cháirez, F. E. (2016). Crecimiento, nutrición y rendimiento de calabacita con fertilización biológica y mineral. *Rev. Inter. Contaminación Ambiental*. 32(4): 445-453.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.08>
- Durán-Umaña, L. y Henríquez-Henríquez, C. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agronomía mesoamericana*. 2(1): 85-93.
- Elmi, A., Anderson, A. K., & Albinali, A. S. (2019). Comparative study of conventional and organic vegetable produce quality and public perception in Kuwait. *Kuwait J. Sci*. 46(4): 120-127.
- Espinoza, L. y Slaton, N s/f. *Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos*. División de Agricultura de la Universidad de Arkansas. FSA2118SP. 4 p. Disponible en: <https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r125593.PDF>
Fecha de Recuperación 12 de mayo del 2024.
- Félix-Herrán, J.A., Serrato-Flores, R., Armenta-Bojorquez, A.D., Rodríguez-Quiroz, G., Martínez-Ruiz, R., Azpiroz-Rivero, H.S., Olalde-Portugal, V. (2010). Propiedades microbiológicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia Orgánica. *Ra Ximhai - Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*. 6(1): 105-113.
- Fortis-Hernández, M., García-Delgado, J.D., Preciado-Rangel, P., Trejo-Valencia, R., Sánchez-Estrada, A., Fortiz-Hernández, J., 2022. Commercial and phytochemical

quality in biofortified 'Orejona' lettuce with zinc oxide nanoparticles. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 50(4), 12969. <https://doi.org/10.15835/nbha50412969>.

González-González, J.A. 2009. Manual Básico SPSS: Manual de introducción a SPSS. Programa Jóvenes Profesionales. Centro de Inserción Laboral. Universidad de Talca, Chile. Disponible en: https://www.academia.edu/67833717/Manual_basico_spss_universidad_de_talca. Fecha de recuperación: 4 de enero de 2024.

González-Márquez, L. C., Félix-Gastélum, R., Sandoval-Romero, J. A., Escobedo-Urías, D. C., & Longoria-Espinoza, R. M. (2021). Characterization of biofertilizers used in the agricultural valley of Guasave, Sinaloa, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 39: 1-14. e859. <https://doi.org/https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.859>

Hernández-Rivadeneira, J. I., Solís Oba, M. M., & Castro Rivera, R. (s/f). Uso de composta en el desarrollo de lechuga y su contenido de antioxidantes. *Seguridad Alimentaria: Aportaciones Científicas y Agrotecnológicas*, 319.

Hossain, M. E., Mei, X., Zhang, W., Dong, W., Yan, Z., Liu, X., Rachit, S., Gopalakrishnan, S., & Liu, E. (2021). Substitution of Chemical Fertilizer with Organic Fertilizer Affects Soil Total Nitrogen and Its Fractions in Northern China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18: 12848. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph182312848>

Jiménez, F. M. (2015). Necesidades nutricionales y de riego de la lechuga. *Granja. Revista agropecuaria*.

López-Martínez, J. D., Salas-Pérez, L., Valenzuela Soto, R., Borroel García, V. J., Preciado Rangel, P., & Ramírez Seañez, A. R. (2017). Efecto del potasio en el contenido

fenólico y capacidad antioxidante de *Ocimum basilicum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 131-143.

Luna-Guevara, M. L., & Delgado-Alvarado, A. (2014). Importance, contribution and stability of antioxidants in fruits and products of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances de Investigación Agropecuaria*. 18(1): 51-66.

Méndez-Sánchez, C. (2015). *Estudio de plagas y enfermedades en el cultivo de lechuga*. Pag 4–9. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4653/pfc5880.pdf>

Mercado-Mercado, G., de la Rosa Carrillo, L., Wall-Medrano, A., López-Díaz, J. A., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). Polyphenolic compounds and antioxidant capacity of typically consumed species in Mexico. *Nutr Hosp*. 28(1): 36-46.

Montelongo, S. P. (2018). *Determinación de metales y elementos traza en algas*. (Doctoral dissertation, Universidad de La Laguna) Pag: 1
. <https://portalciencia.ull.es/documentos/5e31703e2999523690ffee3c>

Orozco-Corral, A. L., Valverde-Flores, M. I., Martínez-Téllez, R., Chávez-Bustillos, C., & Benavides-Hernández, R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, 34(4): 441-456.

Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo integral del suelo y Nutrición vegetal*, 1(4), 1-4.

Peña, M. Y., Casierra-Posada, F., & Monsalve, O. I. (2013). Soilless tomato production (*Solanum lycopersicum* L.) in rice hulls mixed with mineral and organic materials. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 7(2): 217-227.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v7n2/v7n2a07.pdf>

- Pérez-López, U., Miranda-Apodaca, J., Muñoz-Rueda, A., & Mena-Petite, A. (2015). Interacting effects of high light and elevated CO₂ on the nutraceutical quality of two differently pigmented *Lactuca sativa* cultivars (Blonde of Paris Batavia and Oak Leaf). *Scientia Horticulturae*, 191: 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.030>
- 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). Effect of Vermicompost Lixivate on the Production of Hydroponic Corn Forage. *Terra Latinoamericana*, 32(4): 333-338
- Preciado-Rangel, P., Valenzuela-García, A. A., Pérez-García, L. A., González-Salas, U., Ortiz-Díaz, S. A., Buendía-García, A., & Rueda Puente, E. O. (2022). La biofortificación foliar con hierro mejora la calidad nutracéutica y la capacidad antioxidante en lechuga. *Terra Latinoamericana*, 40: 1-7. e1060.
- Ramírez-Aragón, M. G., Borroel-García, V. J., Salas-Pérez, L., López-Martínez, J. D., Gallegos-Robles, M. A., & Trejo-Escareño, H. I. (2019). Ácido rosmarínico, fenólicos totales y capacidad antioxidante en tres variedades de *Ocimum basilicum* L. con diferentes dosis de potasio. *Polibotánica*, (47), 89-98.
- Ramos-Agüero, D., & Terry-Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4): 52-59. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n4/ctr07414.pdf>
- Raviv, M., Lieth, J. H., & Bar-Tal, A. (2008). Significance of soilless culture in agriculture. *Soilless Culture*, 1-11.
- Roblero-Ramírez, H. R., Nava-Pérez, E., Valenzuela-Quiñónez, Camacho-Báez, J. R., & Rodríguez-Quiroz, G. (2014). Evaluation of five vermicompost doses in tomato

(*Solanum lycopersicum*) cultivation in Sinaloa, Mexico. Rev. Mex. Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. (Núm. 8): 1495-1500.

Saavedra, G., Corradini, F., & Antúnez, A. (2015). *Manual de producción de Lechuga*. Pag: 1-23

https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/20.500.13082/29500/1/INIA_Libro_0051.pdf

Sánchez, L. R., Crespo, A. P., Botía, C. P., Sironi, J. S., & Sánchez, A. A. (2002). Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg. Invest. Agr. Prod. Prot. Veg. 17(2): 303-318.

Sánchez, T. M. (2010). Evaluación de la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca. Pag: 29-30

<https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/6089>

Solís-Silva, R., Reyes-Munguía, A., Madariaga-Navarrete, A., Medina-Pérez, G., Campos-Montiel, R. G., & Cenobio-Galindo, A. J. (2018). Evaluación de la actividad antifúngica y antioxidante de una nanoemulsión W/O de *Opuntia oligacantha* y aceite esencial de *Citrus X sinensis* Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3: 182-187.

Zaragoza-Lira, M. M., Preciado-Rangel, P., Figueroa-Viramontes, U., García-Hernández, J. L., Fortis-Hernández, M., Segura-Castruita, M. Á., Lagarda-Murrieta, Á., & Madero-Tamargo, E. (2011). Application of compost and pecan yield. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 17(Esp. 1): 33-37.