



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis

**Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre las propiedades
fisicoquímicas y antioxidantes en frutos de chile chiltepín (*Capsicum
annuum* var. *Glabriusculum*)**

Para obtener el título de
Ingeniero Agroindustrial

Presenta

Ángel de Jesús Castelán Arroyo

Director

Dr. César Uriel López Palestina

Co director

Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., México., 11 de noviembre de 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

Academic Area of Agroindustrial engineering and Food Engineering

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 22 de agosto de 2025.

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, **Ángel de Jesús Castelán Arroyo** quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes en frutos de chile chiltepín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*)"**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE	Dr. César Uriel López Palestina
SECRETARIO	Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz
VOCAL 1	Dra. Alma Delia Hernández Fuentes
SUPLENTE 1	M.C. César Andrés Cabrera Cortes

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz
Coordinador del P.E. de Ingeniería Agroindustrial



Av. Universidad Km. 1 Exhacienda de Aquetzalpa.
C.P. 43600. Tulancingo, Hidalgo, México
Teléfono: 7717172000 Ext. 2422
cesar_lopez@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Al culminar esta etapa tan importante en mi formación profesional, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a quienes han sido pilares fundamentales en este camino.

Agradezco profundamente al Dr. Cesar Uriel, gracias por su apoyo académico, por compartir sus conocimientos con claridad y entusiasmo, y por motivarme a ir siempre un paso más allá en mi aprendizaje.

Al Dr. Yair Olovaldo, por su orientación constante, sus valiosas observaciones y el acompañamiento durante todo el proceso de investigación. Su compromiso y dedicación fueron clave para llevar este trabajo a buen término.

A la Dra. Alma Delia, le agradezco su disposición, el haberme abierto las puertas del laboratorio de poscosecha y haberme dado la confianza de trabajar ahí.

Al M. C. César Andrés gracias por su constante estímulo a desarrollar un pensamiento crítico y aplicado en el ámbito de la Ingeniería Agroindustrial, y por ser un buen asesor.

A las Dras. Xóchitl Alejandra, Gieraldin por sus consejos, apoyo y por compartir su conocimiento gracias por los buenos momentos y la convivencia.

Gracias por su entrega, profesionalismo y por haber dejado una huella significativa en mi formación.

Agradezco a mi familia, por ser mi mayor fuente de fortaleza e inspiración. A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y su confianza en mí desde el inicio. Gracias por enseñarme con el ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la humildad. A mis hermanas, por su apoyo constante, por sus palabras de ánimo y por estar siempre presentes, incluso en la distancia.

DEDICATORIAS

A mi familia, por ser mi fuente inagotable de motivación y refugio en los momentos de dificultad.

A mis amigos, quienes con su compañía, comprensión y palabras de aliento hicieron más llevadero este camino lleno de retos y aprendizajes.

A mis docentes, por compartir generosamente su conocimiento y por fomentar en mí el pensamiento crítico y la pasión por aprender.

Y finalmente, a mí mismo, por no rendirme, por confiar en mis capacidades y por avanzar, paso a paso, hacia la meta.

Esta tesis representa no solo un logro académico, sino también un testimonio de perseverancia, gratitud y crecimiento personal.

ÍNDICE

RESUMEN.....	iv
ABSTRAC	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. HIPÓTESIS	3
4. JUSTIFICACIÓN.....	4
5. MARCO TEÓRICO	5
5.1 Chile.....	5
5.2 Chiltepín	5
5.2.1 Taxonomía del chiltepín	6
5.2.2 Usos del chiltepín	7
5.2.3 Importancia nutricional.....	7
5.2.4 Compuestos bioactivos	7
a) Carotenoides	8
b) Compuestos fenólicos	8
c) Flavonoides	9
d) Capsaicinoides.....	9
5.2.5 Beneficios en la salud humana.....	11
5.3 Biofertilizantes	11
5.3.1 Tipos de biofertilizantes	12
a) Microorganismos promotores de crecimiento vegetal (PGPM) como biofertilizantes	12
b) Microorganismos fijadores de nitrógeno.....	13
c) Microorganismos solubilizadores de fosfato	13
6. MATERIALES Y MÉTODOS	15

6.1	Localización del experimento.....	15
6.2	Materia vegetal y biofertilizantes	15
6.3	Establecimiento del experimento	15
6.4	Diseño de tratamientos.....	16
6.5	Cosecha y preparación de las muestras.....	17
6.6	Variables de estudio	17
6.6.1	Determinaciones morfológicas y fisicoquímicas	17
a)	Longitud y Ancho.....	17
b)	Peso	17
c)	Sólidos solubles totales o grados Brix (°Brix)	18
d)	pH	18
e)	Acidez titulable.....	18
f)	Índice de sabor	19
g)	Color	19
6.6.2	Compuestos bioactivos	20
a)	Fenoles totales	20
b)	Flavonoides.	20
c)	Ácido ascórbico.	21
d)	Carotenoides.	21
6.6.3	Actividad antioxidante no enzimática	21
a)	Método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo).....	21
b)	Método ABTS [2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolin-6- sulfónico)].....	22
c)	Capsaicina.....	22
d)	Determinación de Unidades de Pungencia Scoville (SHU).	23
6.7	Análisis de resultados.....	23
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
7.1	Comportamiento en características morfológicas y fisicoquímicas de chiltepín por efecto de la aplicación de biofertilizantes.....	24
7.1.1	Variación en dimensiones (peso, longitud y diámetro).	24
7.1.2	Variación de color.....	25
7.1.3	Variación de pH, acidez titulable, grados °Brix.	27
7.2	Comportamiento de compuestos bioactivos en chile chiltepín por efecto de la aplicación de biofertilizantes.	28

7.2.1	Concentración de ácido ascórbico.	28
7.2.2	Concentración de carotenoides	28
7.2.3	Concentración de fenoles y flavonoides	29
7.2.4	Variación en el contenido de capsaicina	31
7.3	Actividad antioxidante no enzimática en chile chiltepín por efecto de la aplicación de biofertilizantes.	32
7.3.1	Variación de la actividad antioxidante mediante la capacidad de inhibición del radical DPPH·	32
7.3.2	Variación en la actividad antioxidante mediante la capacidad de inhibición del radical ABTS ^{·+}	33
8.	CONCLUSIONES	35
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

RESUMEN

La producción y consumo de alimentos vegetales son fundamentales en la dieta mexicana, pero la sostenibilidad de esta actividad depende de la conservación de los suelos fértiles. Según la FAO (2018), el suelo es un recurso finito cuya degradación no puede recuperarse. Las prácticas agrícolas intensivas e insostenibles reducen su materia orgánica y fertilidad, generando contaminación y afectando la calidad de los alimentos. En México, uno de los cultivos más representativos es el chile (*Capsicum annuum*), especialmente el chile chiltepín, especie silvestre distribuida desde Sonora hasta la península de Yucatán. Este cultivo tiene gran valor económico, con una producción anual superior a los 13 mil millones de pesos. Sin embargo, su producción intensiva ha contribuido a la contaminación y sobreexplotación de los suelos.

Ante esta problemática, se han propuesto alternativas sustentables como el uso de microorganismos y biofertilizantes, que mejoran la fertilidad del suelo y promueven el crecimiento vegetal sin generar contaminación. La investigación evaluó el efecto de biofertilizantes en el chile chiltepín, demostrando mejoras en su calidad fisicoquímica, concentración de compuestos bioactivos y actividad antioxidante. Los resultados confirman que los biofertilizantes pueden sustituir a los fertilizantes químicos, favoreciendo una producción más sustentable y amigable con el ambiente.

ABSTRAC

The production and consumption of plant-based foods are essential in the Mexican diet; however, the sustainability of this activity depends on the conservation of fertile soils. According to the FAO (2018), soil is a finite resource whose degradation cannot be recovered. Intensive and unsustainable agricultural practices deplete soil organic matter and fertility, leading to pollution and compromised food quality.

In Mexico, one of the most representative crops is chili pepper (*Capsicum annuum*), especially the wild chiltepín variety, which is distributed from Sonora to the Yucatán Peninsula. This crop has great economic value, with an annual production exceeding 13 billion pesos. However, its intensive cultivation has contributed to soil contamination and overexploitation of the land.

In response to this problem, sustainable alternatives have been proposed, such as the use of microorganisms and biofertilizers, which improve soil fertility and promote plant growth without generating pollution. The research evaluated the effect of biofertilizers on chiltepín chili, showing improvements in its physicochemical quality, concentration of bioactive compounds, and antioxidant activity. The results confirm that biofertilizers can effectively replace chemical fertilizers, promoting more sustainable and environmentally friendly agricultural practices.

1. INTRODUCCIÓN

La producción y consumo de alimentos de origen vegetal son de gran importancia para la dieta del mexicano, sin embargo, para satisfacer las demandas constantes se requiere de un suelo fértil y en buenas condiciones para permitir continuar con los procesos de producción efectiva; de acuerdo con la FAO (2018), el suelo es un recurso finito, lo que significa que su pérdida y degradación no es recuperable; hoy en día, gran parte de las prácticas agrícolas insostenibles e intensivas reducen la materia orgánica del suelo, erosionándolo, reduciendo su fertilidad y complicando su capacidad para descomponer los contaminantes orgánicos, dando como resultado cambios en la producción o bien alimentos con mayor contenido de agentes nocivos para la salud (FAO, 2018).

En los últimos años la agricultura se ha estado enfocando en el cuidado ambiental, ya que al haber un incremento en los productos de fertilización su producción industrial y consumo cada vez es más habitual, dando un gran aumento en la producción de alimento, pero ocasionando problemas de contaminación en los agroecosistemas; entre estos se puede distinguir la producción de chile (Beltrán & Bernal, 2022).

En México existe una gran diversidad de chiles, los cuales suelen ser usados secos, curtidos o frescos en la gastronomía. De acuerdo con su clasificación, estos pueden integrarse desde dulces a muy picosos; entre estos últimos destaca el chile chiltepín, también conocido como pequeño y gran señor de Sonora. Referente a su distribución, esta especie silvestre se puede encontrar en regiones del Océano Pacífico (desde Sonora a Chiapas) y Golfo de México (de Tamaulipas hasta la península de Yucatán) y principalmente en vegetaciones de matorral desértico, espinoso, selva baja caducifolia y encinares, a las orillas de arroyos y a lo largo de cañadas (Caughey-Espinoza et al., 2020).

En este sentido, el chile (*Capsicum annuum*), se ha caracterizado por ser uno de los cultivos que más se producen y consumen en México, siendo de los principales cultivos que genera mayor valor en la agricultura nacional, alcanzando 13 mil mdp anualmente, con un volumen de producción de 2.2 millones de toneladas (De Agricultura y Desarrollo Rural, 2015).

De acuerdo con las estadísticas oficiales del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en el año 2022 reportaron que la superficie destinada para la producción de chile chiltepín fue de 20 ha, de las que se cosechó el 100 % con una producción total de 15.60 t, un rendimiento promedio de 0.78 t ha⁻¹, siendo Sonora el estado con mayor producción en México.

Sin embargo, al ser uno de los principales alimentos producidos en el territorio mexicano ha generado grandes problemas de contaminación y sobreexplotación de los suelos.

Debido a estos problemas, se ha implementado soluciones para la conservación y protección del suelo, tales como es el uso de microorganismos, por su gran capacidad en descomponer residuos orgánicos, desintoxicar distintos compuestos recalcitrantes (como pesticidas), disminuir las enfermedades en las plantas y al mismo tiempo promover la producción de compuestos bioactivos como vitaminas y hormonas en estas, para estimular su crecimiento, y por otro lado, aportando nutrientes al suelo mediante métodos como fijación de nitrógeno y solubilización de fosfato (Beltrán & Bernal, 2022).

Es por ello, que la presente investigación evaluó el efecto de la aplicación foliar de biofertilizantes, sobre la calidad fisicoquímica, la concentración de los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en chile chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*), proponiendo una alternativa sustentable para la producción de este alimento.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación foliar de biofertilizantes, sobre la calidad fisicoquímica, la concentración de los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en chile chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*).

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros morfológicos y fisicoquímicos (peso, longitud, pH, sólidos solubles totales, acidez titulable, color) en chile chiltepín tratado con biofertilizantes.
- Determinar los compuestos bioactivos (fenoles, flavonoides, ácido ascórbico, carotenoides, capsaicina) en chile chiltepín tratado con biofertilizantes.
- Determinar la capacidad antioxidante mediante el ensayo DPPH y ABTS en chile chiltepín tratado con biofertilizantes.

3. HIPÓTESIS

La aplicación de biofertilizantes, incrementan la calidad fisicoquímica, y concentración de compuestos bioactivos en el chile chiltepín.

4. JUSTIFICACIÓN

En la producción de productos agrícolas, los fertilizantes químicos son utilizados comúnmente, estos mayoritariamente contienen elementos de origen mineral, los cuales son derivados de la industria química o explotación de yacimientos naturales, empleados con frecuencia para reparar las deficiencias nutricionales de los suelos sobreexplotados y al mismo tiempo generando una mayor contaminación a estos e incluso a veces alterando la naturaleza de las plantas, frutos y microorganismos benéficos para estos mismos (Beltrán & Bernal, 2022). Es por ello, que la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación foliar de biofertilizantes, sobre la calidad fisicoquímica, la concentración de los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en chile chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*), presentando una alternativa sustentable con el uso de biofertilizantes con potencial para mejorar las características fisicoquímicas, la concentración de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en el chile, y a la vez reducir el impacto ambiental.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Chile

El chile (*Capsicum*) es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo; este es reconocido principalmente por la diversidad de sus colores, aromas, formas, sabores y tamaños, propias de cada especie; este alimento se distingue en la alimentación y gastronomía del mundo desde épocas prehispánicas, con gran relevancia en la cocina mexicana situándose como principal especia (De Agroalimentaria y Pesquera, 2023). En México su importancia es de gran relevancia ya que a pesar de las características físicas ya mencionadas otra de sus particularidades primordiales por los que se diferencian estos frutos es debido a la pungencia de sus frutos, causada principalmente por el nordihidro, dihidro y capsaicina (Escalera et al., 2019).

De acuerdo con el SIAP (2022) en México la producción total de chile fue de 3,112,480.69 t, siendo los principales estados productores Sonora, Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Campeche, Coahuila y Durango (De Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023), dentro de las cuales destacan variedades como habanero, chiltepín, piquín, de árbol, serrano, jalapeño, morrón, entre otras (De Prensa et al., 2021).

5.2 Chiltepín

El chiltepín (*Capsicum annuum* L., var. *glabriusculum*), es un arbusto silvestre perenne (ciclo de vida de al menos 2 años), cuyo fruto se caracteriza por ser una baya redonda u ovalada de 0.3 a 0.6 cm de diámetro el cual se desarrolla en posición vertical (eréctil). En estado inmaduro el fruto presenta un color verde oscuro, esto se debe a la alta concentración de clorofila, pigmento propio de todas las plantas y parte fundamental de la fotosíntesis en estas; y estos al madurar se torna de color rojo, debido a una concentración de pigmentos rojos conocidos como licopersinas. Alcanzan su madurez reproductiva de los seis a diez

meses de edad. Su floración comienza durante el mes de mayo y dura tres meses, posterior a ello su fructificación comienza en junio y termina cuatro meses después. Al tener un color, tamaño y forma de desarrollo muy característico el chiltepín es atractivo para diversas aves, las cuales al comerlos a través de sus heces se encargan de dispersar sus semillas y así poder multiplicar este fruto (Araiza et al., 2011).

5.2.1 Taxonomía del chiltepín

Del azteca "chilli", chile más tecpin, pulga, de gran importancia en la cultura de México (Bañuelos et al., 2008). Pequeño y de forma esférica coloquialmente llamado, chile piquín, chiltepec, chiltepillo, chile de monte, chile parado, pájaro pequeño, ululte, totocuitlatl, chile mosquito, etc.; pertenece a la familia *Solanaceae* y su clasificación taxonómica se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del Chiltepín

Reino	Plantae
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>C. Annuum</i>
Nombre Científico	<i>Capsicum annuum</i> L. var. <i>glabriusculum</i>
Nombre común	<i>Chiltepín</i>

Fuente: National Library of Medicine (Eguiarte, 2018).

5.2.2 Usos del chiltepín

En la horticultura mexicana el chile juega un papel muy importante en la cocina ya que su consumo es esencial como acompañante en distintos platillos, especialmente en estado fresco, o procesado en forma de salsas, polvo y encurtidos (Jazmín, 2018).

De igual manera el chile en México, entre los que destaca el chiltepín es parte esencial de la identidad y la gastronomía mexicana, apreciándose y consumiéndose en fresco, salmuera y vinagre, rojo seco, en salsa y hasta molido con sal para degustación en variedad de platillos típicos y regionales (Bañuelos et al., 2008).

5.2.3 Importancia nutricional

Además de sus características de color, olor y sabor pungente, el chile aporta una gran variedad de nutrimentos con impacto positivo a la salud, ocasionado por variedad de macronutrimentos, micronutrimentos y fitoquímicos con alta actividad biológica (Francisco et al., 2017).

5.2.4 Compuestos bioactivos

De acuerdo con Balasundram et al. (2005) los compuestos bioactivos son metabolitos secundarios producidos por las plantas, los cuales confieren características sensoriales en los alimentos propios de cada uno (Urango et al., 2009). Entre estos se pueden mencionar los carotenoides, los compuestos fenólicos, los flavonoides y los alcaloides entre los que se distingue la capsaicina, compuesto característico que confiere picor al chile.

a) Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos vegetales ampliamente distribuidos en las frutas y hortalizas, de forma química conocidos como terpenoides, constituidos por átomos de carbono. Estas coloraciones van desde el amarillo (betacaroteno), rojo (licopeno) y naranja, los cuales son los encargados de brindar el color característico de las frutas, raíces y flores. Por otro lado, los carotenoides se encuentran presentes en los organismos que dependen del sol para obtener su energía tales como las bacterias o plantas. Debido a su capacidad antioxidante estos componentes brindan un papel importante para proteger a los organismos durante el proceso de la fotosíntesis (convertir la luz solar en energía química) (Urango et al., 2009). La literatura ha reportado que entre los vegetales con un alto contenido de carotenoides se encuentra el pimiento rojo (*Capsicum annuum*), (International Trade Center, 2016); sin embargo, factores ambientales como iluminación, temperatura son variables que pueden generar una mayor o menor concentración de carotenoides (Méndez et al, 2005). Las coloraciones rojizas son características en el chiltepín maduro recién cosechado y deshidratado, representando uno de los atributos de calidad más importantes (Martínez et al, 2006).

b) Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos actúan en las plantas en el crecimiento y reproducción de sus células como metabolitos esenciales, así mismo actúan como agentes protectores bajo diferentes tipos de estrés ya sean abióticos y bióticos (Jazmín, 2018); estos se encuentran presentes fundamentalmente en las frutas rojas, moradas y cítricos; entre los compuestos fenólicos se encuentran los ácidos fenólicos y flavonoides, los cuales incluyen flavonoles, antocianinas y flavonas, entre otros compuestos. También entre estos se identifican isoflavonas, fenilpropanoides provenientes de ácidos hidroxicinámicos, como el cafeico, ferúlico y sinápico, estilbenoides y derivados del ácido benzoico como el ácido gálico y elágico (Martínez et al., 2008). Dentro de estos compuestos los que destacan más en el chile

son la luteolina, apigenina, rutina y catequina. De igual manera contienen diferentes tipos de ácidos de los cuales los más destacados son el ácido gálico, cumárico y cinámico (Ordaz & Fernández, 2023).

Sin embargo, es importante mencionar que el contenido de compuestos fenólicos en el chile y cualquier vegetal se verá afectado por el estadio de madurez del cultivo.

c) Flavonoides

Los flavonoides compuestos por hormonas vegetales llamadas auxinas son de vital importancia ya que estas responden a la luz solar, encargadas del crecimiento e intervienen en las clasificaciones de las plantas y al mismo tiempo en la polinización al intervenir en la coloración (Escamilla et al., 2009). Son moléculas distribuidas ampliamente en los alimentos de origen vegetal caracterizándose por poseer capacidad antioxidante. Su estructura se basa en la unión de dos anillos aromáticos mediante una cadena alifática de tres carbonos, los cuales se condensan en forma de pirano, o en anillo furano. Estos compuestos despliegan propiedades quelantes y secuestradoras de radicales libres, presentando una buena capacidad antioxidante, además de inhibición de oxidasas y formación de hidroperóxidos orgánicos (Jazmín, 2018).

d) Capsaicinoides

Existen muchos factores a los cuales las plantas deben enfrentarse como el clima, depredadores naturales como las aves, mamíferos y plagas; las aves son un factor esencial al cual las plantas deben reaccionar para su supervivencia, ya que al haber una gran cantidad de animales herbívoros estos al intentar alimentarse no solo afectan el crecimiento de la planta si no también la forma en que se reproducen y estructura que naturalmente tienen. En el chile (*Capsicum*) como otros alcaloides que lo componen, la capsaicina actúa sobre los mamíferos como un sistema de defensa evitando ser devorados.

De igual manera, las plantas han desarrollado diferentes mecanismos de defensa como químicos y estructurales. En su mecanismo de defensa químico, se involucran procesos metabólicos primarios de las plantas, estos pueden ser empleados en beneficio de las plantas acumulando estos compuestos en tallos y hojas de esta, con el resultado de que la planta se vuelve toxica o de olor y sabor desagradable. Sin embargo, la presencia de estas sustancias de defensa para algunos tipos de plantas resulta no tan favorable para ella ya que, para ciertas especies, en su selección de alimentos se ve envuelta en las características sensoriales que las plantas puedan ocasionar a los depredadores, tales como el sabor, gusto, olor y color de estas (Riquelme, 2003).

Como otros alcaloides, la capsaicina responsable de la pungencia en los frutos del chile actúa sobre los mamíferos como un disuasivo a la depredación. Estos compuestos al ser tan potentes un ser humano puede percibir lo picante de una gota de capsaicina disuelta en cien mil gotas de agua.

La capsaicina es conocida como un alcaloide cristalino, lipófilo, inodoro e incoloro, soluble en alcohol y aceite, con una estructura molecular de 18 átomos de carbono, 27 de hidrogeno, 1 de nitrógeno y 3 de oxígeno ($C_{18}H_{27}NO_3$) comúnmente trans-8-metil-N-vanillil-6-nonenamide.

Para que un chile sea picante, depende de la concentración de capsaicinoides. Por lo que el nivel de pungencia se puede medir mediante unidades de calor Scoville (Scoville Heat Units, por sus siglas en ingles SHU) y estas pueden ir desde 0 a los 16 millones de unidades dependiendo del tipo de especie de chile (*Capsicum*). Como ya se mencionó la capsaicina brinda el sabor picante, esto es causado por metabolitos secundarios procedentes de la síntesis de vainillilaminas y cadenas de ácidos grasos que se agrupan en el tejido epidérmico del fruto (Ordaz & Fernández, 2023).

Dentro de los componentes pungentes en el chile el que más abunda es la capsaicina con 69%, la dihidrocapsaicina con un 22%, nordihidrocapsaicina con 7% y las de menor presencia, pero no menos importantes la homocapsaicina y homodihidrocapsaicina cada una de estas con un 1%. Los capsaicinoides poseen propiedades como antioxidantes,

antiinflamatorios, anticancerígenos y ayuda al metabolismo energético. Así también, contiene fenilalanina y lisina, aminoácidos esenciales para el ser humano (Ordaz & Fernández, 2023).

5.2.5 Beneficios en la salud humana.

El cambio de dieta en las poblaciones y la frecuente exposición a contaminantes ha generado aumento en las enfermedades, tales como cáncer, enfermedades cardiovasculares, entre otras. En este contexto, las propiedades de los compuestos bioactivos funcionan como una alternativa que inhibe la oxidación de lípidos y proteínas, desempeñando un papel importante en la salud humana como agentes antioxidantes, antiinflamatorios, antitumorales, anticancerígenos, así como efectos analgésicos contra alguna de las enfermedades, además de retrasar el envejecimiento y fortalecer el sistema inmunológico (Ordaz & Fernández, 2023).

Del mismo modo, dentro de los compuestos bioactivos destacan los carotenoides ya que actúan como antioxidantes funcionando como un agente protector en las células contra el daño oxidativo. Los carotenoides, compuestos fenólicos, vitamina C y E ayudan a inhibir el desarrollo de cataratas, cáncer, Parkinson y Alzheimer esto como ya se mencionó por sus propiedades antioxidantes (Ordaz & Fernández, 2023).

5.3 Biofertilizantes

Los biofertilizantes no son fertilizantes que dan directamente la nutrición a las plantas, sino que son cultivos de microorganismos como bacterias, hongos y algas verde-azules, envasados en un material de soporte (Boraste et al., 2009).

Los biofertilizantes o más apropiadamente inoculantes microbianos, pueden definirse como preparados sólidos o líquidos que contienen cepas de células vivas o latentes, eficientes para la fijación de nitrógeno, solubilizadores de fosfato o microorganismos celulolíticos,

para su aplicación a las semillas o la rizósfera de las plantas, con el objetivo de aumentar el número de esos microorganismos y acelerar los procesos microbianos que aumentan el crecimiento radicular, así como la disponibilidad de nutrientes que pueden ser fácilmente asimilables por las plantas cultivadas (Boraste et al., 2009).

Estudios pertinentes han demostrado que al inocular un grupo microbiano adecuado mejora la calidad y salud del suelo, lo cual, incrementa el crecimiento, rendimiento y calidad de los frutos. Algunas de estos grupos pueden asentarse en especies seleccionadas de microorganismos como rizobacterias que fomentan el crecimiento vegetal, cianobacterias responsables de mantener el N₂, bacterias y hongos que neutralizan las toxinas del suelo, actinomicetos, entre otros microorganismos beneficiosos (*Vista de Biofertilizantes: Alternativa Biotecnológica Para los Agroecosistemas*, s. f.).

5.3.1 Tipos de biofertilizantes

a) Microorganismos promotores de crecimiento vegetal (PGPM) como biofertilizantes.

Microorganismos promotores de crecimiento vegetal (Promoting Growth Plant Microorganisms, PGPM por sus siglas en inglés). Se conoce comúnmente como microorganismos promotores del crecimiento vegetal a las especies bacterianas o fúngicas del suelo que aportan beneficios a las plantas.

Recibido por múltiples especies de bacterias y hongos, vinculados con una amplia variedad de especies vegetales. Interactúan específicamente con las raíces de las plantas en la rizósfera, donde su cantidad suele ser superior a la del suelo libre debido a la formación de una relación simbiótica entre la planta y los microorganismos (*Vista de Biofertilizantes: Alternativa Biotecnológica Para los Agroecosistemas*, 2022).

b) Microorganismos fijadores de nitrógeno

La fijación de nitrógeno es crucial, restringida por la fuente de carbono viable y provocada por niveles reducidos de nitrógeno combinado; su carencia en las plantas impacta esencialmente en su crecimiento, se observa que los microorganismos minimizan el elevado costo de la síntesis y funcionamiento de las enzimas cuando hay suficiente nitrógeno disponible. El proceso de la fijación de nitrógeno puede ser de forma abiótica en donde se oxida el nitrógeno atmosférico formando óxidos de nitrógeno, o de manera simbiótica, donde en el proceso de fijación de nitrógeno atmosférico se transforma en amoníaco, nitritos entre otros.

La adherencia simbiótica de nitrógeno se restringe únicamente a las leguminosas y a ciertos árboles o arbustos vinculados con *Frankia* sp. En ecosistemas terrestres, este acondicionamiento biológico realizado por los rizobios constituye la mayor aportación de nitrógeno combinado. Las cianobacterias representan los organismos de fijación de nitrógeno más importantes y su capacidad de fijación generalmente supera en uno o dos órdenes de magnitud la capacidad de fijación de las bacterias no fotosintéticas que no están libres del suelo (Pineda et al., 2022).

c) Microorganismos solubilizadores de fosfato

El fósforo es un componente imprescindible para todas las formas de vida, puesto que se incluye en los ácidos nucleicos, ATP y fosfolípidos, elementos importantes de la membrana plasmática (Pineda et al., 2022).

Su función fisiológica principal reside en la acumulación y liberación de energía durante el proceso de metabolismo celular. Los microorganismos que solubilizan fosfato (MSF), se encuentran en los suelos y en las zonas aéreas, forman un grupo relevante de los promotores del crecimiento vegetal o PGPM, y establecen una relación simbiótica con la planta. En esta relación, el microorganismo moviliza el fosfato insoluble presente en el suelo

para que la raíz lo absorba, mientras que la planta recibe compuestos carbonados que son metabolizados para el crecimiento de los microorganismos (Pineda et al., 2022).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización del experimento.

El establecimiento del cultivo se llevó a cabo en un invernadero de baja tecnología en la ciudad de Tulancingo de Bravo, Hidalgo, con coordenadas de 20°28'42" N, 98°51'48" O y a una altura de 2181 msnm. El estado donde se estableció el cultivo se caracteriza por tener un clima semi seco, templado y hacia sus bordes un clima templado, subhúmedo. El análisis de los compuestos bioactivos se estableció en el laboratorio Poscosecha del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

6.2 Materia vegetal y biofertilizantes

Se utilizaron semillas de chile chiltepín de plantas silvestres de Jalisco Nayarit. Los biofertilizantes utilizados fueron Humus Líquido® obtenido de la extracción de los compuestos de la lombricomposta, materia orgánica para uso agrícola, macros-micros, humos-fúlvicos, microorganismos, promotores de crecimiento; ARCHÉ (fertilizante a base de nopal, en trámite su registro) contiene nutrientes esenciales para los cultivos, fitohormonas (giberelinas y auxinas), ácidos húmicos, así como microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos y un fertilizante comercial Bayfolan® N-P-K 20-30-10 conteniendo nitrógeno, fósforo, potasio, potenciadores enzimáticos, aminoácidos libres, ácidos húmicos y fúlvicos, transportadores dispersantes y acondicionadores.

6.3 Establecimiento del experimento

Las semillas de chile chiltepín se dejaron 12 horas en cajas Petri con agua destilada antes de la siembra en las cajas germinadoras. Posteriormente las semillas se sembraron en charolas de unicel de 200 cavidades. El sustrato utilizado para la siembra fue una mezcla de Peat Moss (kekkila profesional®) y Perlita (Agrolita®) en relación 1:1 (v/v). El sustrato se mezcló

y posteriormente se humedeció hasta el punto de saturación con agua. Después, se llenaron las charolas con la mezcla del sustrato y finalmente, se realizó la siembra depositando una semilla por cavidad, con una profundidad de siembra de aproximadamente 1 mm. Los riegos se realizaron diariamente.

Las plántulas fueron trasplantadas en bolsas negras de plástico con un volumen de 4 litros, este procedimiento fue realizado al observarse dos pares de hojas verdaderas. El sustrato utilizado para la siembra fue una mezcla de Peat Moss (kekkila profesional[®]) y Agrolita[®] en relación 1:1 (v/v).

El riego fue mediante una solución Steiner (Hernández-Fuentes, 2017) al 25 %, después al 75% cuando estaba en floración y finalmente al 100% cuando ya tenía fruto. Los riegos con la solución Steiner se realizaron diariamente. Los biofertilizantes utilizados fueron Humus Líquido[®]; ARCHÉ (fertilizante a base de nopal, en trámite su registro) y un fertilizante comercial Bayfolan[®]. Los biofertilizantes y el fertilizante comercial se aplicaron vía foliar cada 8 días para ello se diluyó 3 mL respectivamente en 1L de agua para cada tratamiento.

6.4 Diseño de tratamientos

En la tabla 2, se muestra el diseño de tratamientos y las concentraciones a las cuales se le adiciono los diferentes tipos de fertilizantes y biofertilizantes.

Tabla 2. Diseño de tratamientos

<i>Tratamiento (T)*</i>	<i>Concentración</i>	<i>Agua</i>
<i>Lombri Humus</i>	3 mL	1 L
<i>ARCHÉ</i>	3 mL	1 L
<i>Bayfolan</i>	3 mL	1 L
<i>Control</i>	Sin aplicación	1 L

*Tratamientos (T): T1, Lombri Humus; T2, ARCHÉ; T3, Bayfolan y T4, Control.

6.5 Cosecha y preparación de las muestras

Se cosecharon los primeros chiles el 19 de junio 2023 y posteriormente cada 8 días se realizaron los cortes. Una vez cosechados se trasladaron al laboratorio Poscosecha del ICAp UAEH y se seleccionaron procurando que no tuvieran daños físicos, posteriormente se lavaron con agua destilada para proceder a realizar las determinaciones fisicoquímicas.

Para la evaluación de las propiedades funcionales y capacidad antioxidante, las muestras de chiltepín se almacenaron a -76°C (Ultra congelador THERMO SCIENTIFIC®, 303) durante 3 días. Después, se cortaron en pequeños trozos con un cuchillo y una tabla. En seguida, las muestras se pasaron a tubos de ensayo de plástico con tapa hasta su procesamiento.

6.6 Variables de estudio

6.6.1 Determinaciones morfológicas y fisicoquímicas

a) Longitud y Ancho

Se midieron mediante un Vernier digital (Mitotoyo, Digimatic Caliper). Midiendo el diámetro polar y ecuatorial de cada fruto expresándolos en milímetros.

b) Peso

Se determinó con una báscula digital (Ohaus Pro, modelo Scout Pro SP2001). Tomando tres repeticiones por cada tratamiento expresando su peso en gramos.

c) Sólidos solubles totales o grados Brix (°Brix)

Se utilizó el refractómetro digital (ATAGO, PR-101, CO LTD) para la determinación de grados °Brix y se expresó como porcentaje de sólidos solubles totales (%SST) (AOAC, 2005).

d) pH

Se determinó mediante un potenciómetro digital (Hanna Instruments, Modelo HI 2211, Romania) (AOAC, 2005).

e) Acidez titulable

Acidez titulable se evaluaron de acuerdo con la metodología de la AOAC (2005), expresando los datos como porcentaje de ácido cítrico. El cálculo se realizó con base a la ecuación 1.

Ecuación 1. Acidez titulable

$$\% \text{Ácido Cítrico} = \frac{(\text{mL NaOH})(N)(\text{meq})(VT)(100)}{(A)(g)}$$

Donde:

mL NaOH: gasto de NaOH usados en la titulación

N: Normalidad química de NaOH

Meq: Miliequivalente de ácido cítrico

P: peso de la muestra utilizada (g)

A: alícuota del jugo (mL)

VT: volumen total

f) Índice de sabor

Se determinó mediante la ecuación propuesta por Hernández-Suárez et al. (2008) (Ecuación 2).

Ecuación 2. Índice de sabor

$$\text{Índice de sabor} = \frac{(^{\circ} \text{Brix})}{(20)(\text{AT})} + \text{AT}$$

Donde:

$^{\circ}$ Brix: grados brix

AT: acidez titulable

g) Color

Las mediciones de color se realizaron en un colorímetro (Minolta, CM-508d, Osaka, Japón). Se obtuvieron los parámetros de color L^* , a^* , b^* . Los valores a^* (verde valores negativos a rojo valores positivos) y b^* (amarillo valores positivos a azul valores negativos) estos se utilizaron para calcular el ángulo Hue (h°) y el valor de croma (C). Se utilizaron las ecuaciones 3 y 4 para el cálculo de h° y C.

Ecuación 3. Angulo hue.

$$h^{\circ} = \tan^{-1} \frac{(b^*)}{(a^*)}$$

Ecuación 4. Croma.

$$C = \sqrt{a^*^2 + b^*^2}$$

6.6.2 Compuestos bioactivos

a) Fenoles totales

Los fenoles totales se determinaron por el método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterman et al. (1994). Del sobrenadante de cada una de las muestras se tomaron 0.5 mL del extracto y se agregó el reactivo de Folin-Ciocalteu diluido con agua destilada, se dejó reposar por 7 min, se agregó 1.5 mL de carbonato de sodio al (7.5%) y agua destilada, posteriormente se dejó reaccionar en completa oscuridad durante 1 h. finalmente se midió espectrofotométricamente la absorbancia a 725 nm (espectrofotómetro UV-Vis, Jenway, 6715, EUA). Se elaboró una curva de calibración con una solución patrón de ácido gálico a una concentración (1000 mg L^{-1}). Los resultados se expresaron en mg EAG g^{-1} de peso fresco (PF).

b) Flavonoides.

De acuerdo con el método de Sánchez-Rodríguez et al. (2012), se determinó el contenido de flavonoides, para ello se tomaron 0.5 mL del extracto, se le agregó 2 mL de agua destilada, más 0.15 mL de NaNO_2 (5%) la mezcla se reposó durante 5 min en la oscuridad y se agregaron 0.15 mL de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ al (10%) y 1 mL de NaOH (1M), esta solución se dejó reposar por 15 min. Se midió espectrofotométricamente la absorbancia a 415 nm (espectrofotómetro UVVis, Jenway, 6715, EAU). El contenido total de flavonoides se determinó usando una curva estándar de quercetina. Los resultados se expresaron mg EQ g^{-1} peso fresco (PF).

c) Ácido ascórbico.

La determinación del ácido ascórbico se realizó por el método de Klein & Perry, (1982). La muestra se mezcló con 10 mL ácido metafosfórico durante 45 min a 4°C en agitación constante, se centrifugó a 5000 xg. Del sobrenadante se tomó 1 mL, se mezcló con ácido 2,6- diclorofenol-indofenol, posteriormente se midió la absorbancia a 515 nm. Los resultados se expresaron como mg EAA g⁻¹ peso fresco (PF).

d) Carotenoides.

Los carotenoides se determinaron de acuerdo con la metodología propuesta por Fish et al., (2002). En un vial ámbar se agregó 5 mL de BHT (Butilhidroxitolueno) al 0.05% (p/v) en acetona, 5 mL de etanol al 95% y 10 mL de hexano. Después, se añadió 0.1 g de muestra, se mezclaron por medio de agitación a 180 rpm durante 15 min. Posteriormente, se agregaron 3 mL de agua destilada y se agitaron las muestras nuevamente durante 5 min. Finalmente, las muestras se dejaron en reposo durante 5 min a temperatura ambiente. La medición se realizó espectrofotométricamente de absorbancia se realizó a 508 nm para carotenoides rojo y 475 nm para carotenoides amarillos (espectrofotómetro UV-Vis, Jenway, 6715, EUA). Los valores de medición de carotenoides rojos y amarillos se expresaron en mg g⁻¹ peso fresco (PF).

6.6.3 Actividad antioxidante no enzimática.

a) Método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo).

Se utilizó la metodología propuesta por Brand-Williams et al. (1995) para determinar la actividad antioxidante por medio de DPPH. Se preparó una disolución etanólica al 6 x 10⁻⁵ M de DPPH la cual se colocó en agitación constante durante 2 horas en completa oscuridad.

Posteriormente a una muestra del sobrenadante de chile se le agregaron una concentración conocida de la disolución metanólica con DPPH, se agitó durante 15 s y se dejaron en reposo en completa oscuridad por un lapso de 1 h a 4°C, posteriormente se midió espectrofotométricamente la absorbancia a 517 nm (espectrofotómetro UV-Vis, Jenway, 6715, EUA). Para la obtención de resultados se preparó una curva patrón de Trolox. Los resultados se expresaron como $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ de peso fresco (PF).

b) Método ABTS [2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolin-6- sulfónico)].

Se determinó por el método descrito por Re et al. (1999). El radical ABTS se produjo de la siguiente manera: se mezcló una solución 7.34 mM de ABTS con persulfato de potasio 2.45 mM, la mezcla se mantuvo en agitación constante y a temperatura ambiente en la oscuridad durante 16 horas. La solución de ABTS se diluyó en metanol absoluto hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Se mezcló la muestra con cantidad conocida de la solución de ABTS diluido y se dejó reposar durante 6 min. Transcurrido el tiempo se midió la absorbancia a 734 nm (espectrofotómetro, modelo 6715 UV/Visible, Jenway, Techne Inc, EUA). Para la obtención de resultados se preparó una curva patrón de 0 a 15 μM de Trolox. Los resultados se expresaron como $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ de peso fresco (PF).

c) Capsaicina

El contenido de capsaicina en los frutos se determinó mediante el método de Bennett y Kirby (2000). Se determinó la absorbancia de la capsaicina en fase orgánica en un espectrofotómetro (modelo 6715 UV/Visible, Jenway, Techne Inc, EUA) a una longitud de onda de 286 nm. Los resultados se reportan como mg de capsaicina/g de peso fresco (PF).

d) Determinación de Unidades de Pungencia Scoville (SHU).

Para la determinación de pungencia (SHU) en cada una de las muestras, fue necesario multiplicar la concentración de capsaicina presente (g/g) por el coeficiente de picor (16.1), (Calito, 2007); la ecuación 5 fue utilizada para el cálculo correspondiente.

Ecuación 5. Pungencia (SHU)

$$SHU = \left[Capsaicina \left(\frac{g}{g} \right) * (16.1 * 10^6) \right]$$

6.7 Análisis de resultados.

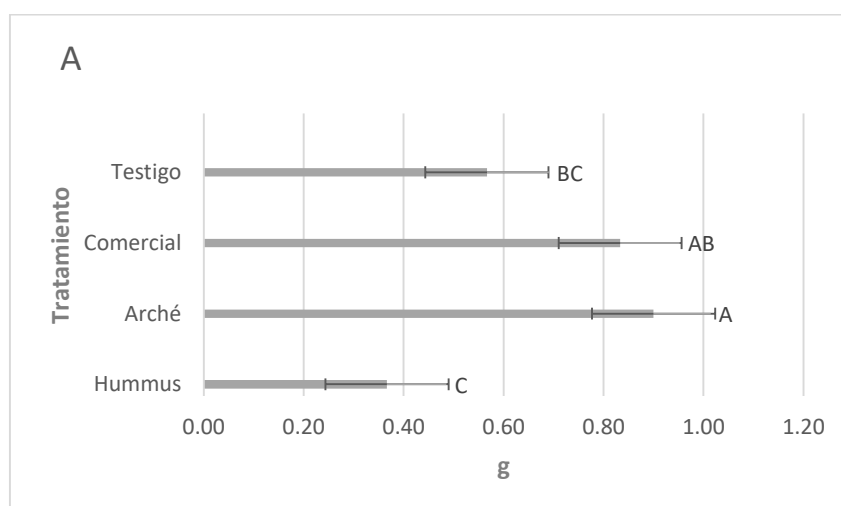
Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, tres repeticiones por tratamiento y se realizó el análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias de Fisher (LSD) con $P \leq 0.05$; el programa SAS (Statistical Analysis System, 2002) versión 9 fue utilizado para el procesamiento de los datos.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Comportamiento en características morfológicas y fisicoquímicas de chiltepín por efecto de la aplicación de biofertilizantes.

7.1.1 Variación en dimensiones (peso, longitud y diámetro).

Los parámetros de peso (A), longitud (B), diámetro (C) se presentan en la Figura 1 donde se puede observar que los chiles tratados con fertilizante ARCHÉ incrementaron su peso comparado con los demás tratamientos; en cuanto a la longitud y ancho los chiles sin ninguna aplicación de fertilizante y los chiles aplicados con Humus hubo un aumento en ellos comparados con los demás tratamientos. De acuerdo con Zayed et al., (2013), estos registraron un aumento en cuanto a la longitud y diámetro en cultivos de pimienta con la adición de fertilizante orgánico. Del mismo modo Khandaker et al., (2017) expresaron que en frutos de chile rojo Kulai tratados con fertilizantes orgánicos (como el vermicompost) obtuvieron un incremento de peso comparados con tratamientos sin ninguna aplicación de fertilizante.



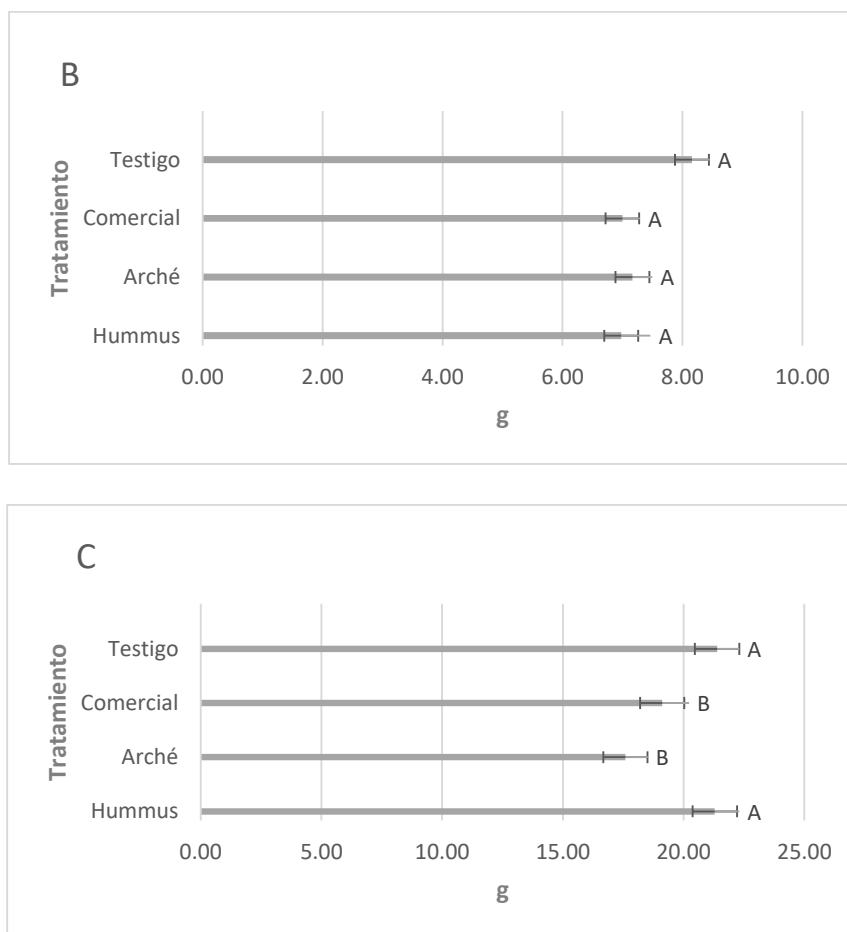


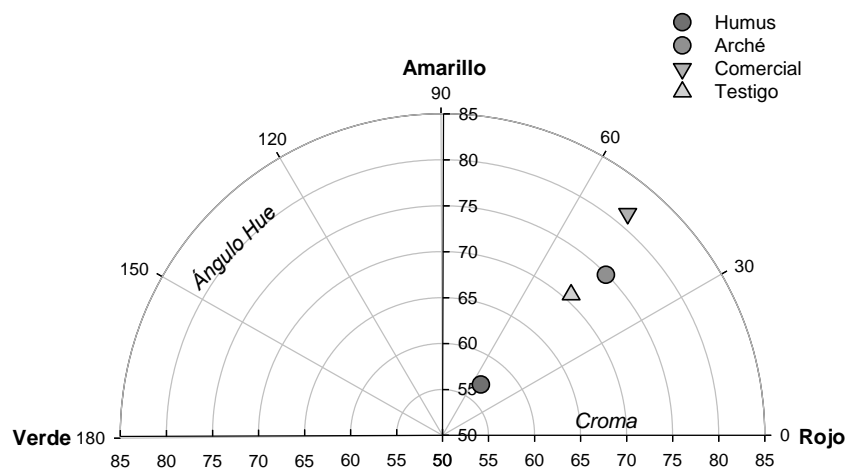
Figura 1. Efecto de la aplicación de diferentes tipos de fertilizantes en chile chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*), en los parámetros de peso (A), ancho (B) y longitud (C). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

7.1.2 Variación de color

En la Figura 2, se observó el color en los parámetros de croma y ángulo hue (A) en los cuales se apreció que no existen diferencias estadísticamente significativas; podemos observar que los rangos de color que se muestran se encuentran entre un promedio del ángulo hue de 52.73° siendo este el mayor y un promedio de 44.41° siendo este el menor, correspondiendo estos datos a los tratamientos Lombri Humus y Arché respectivamente, localizados dentro de los colores rojos amarillos. Para los parámetros de luminosidad (B) un promedio de 33.20% y 36.66 % en los tratamientos sin diferencias estadísticamente

significativas. Arteaga et al., (2006) obtuvo una mejora con la aplicación foliar de humus liquido mejorando su calidad en frutos de tomate Amalia.

A



B

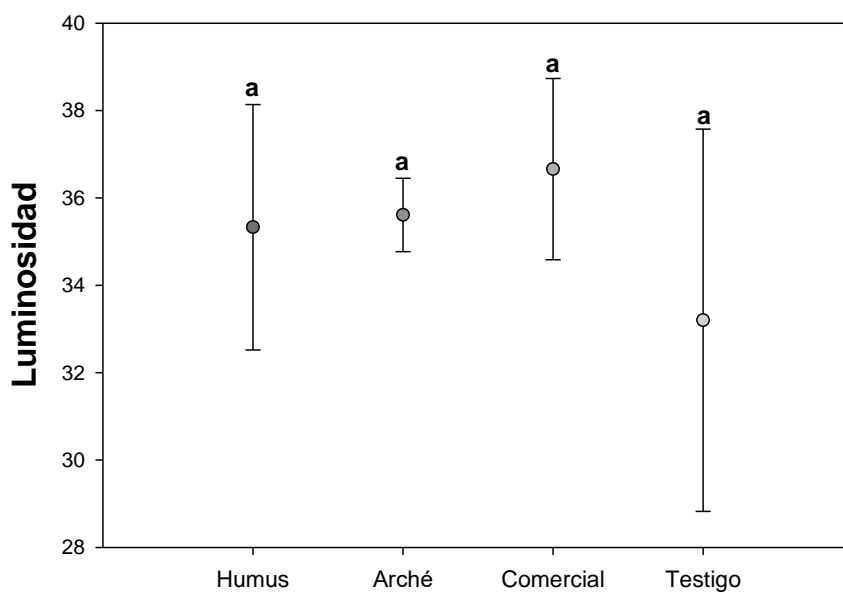


Figura 2. Efecto de la aplicación de biofertilizantes en chile chiltepín (*Capsicum annuum* L., variedad *glabriusculum*) en los parámetros de croma y ángulo hue (A) y luminosidad (B). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

7.1.3 Variación de pH, acidez titulable, grados °Brix.

En la tabla 3 observamos el efecto de la aplicación foliar de diferentes fertilizantes; con respecto a sólidos solubles totales; la mayor concentración se presentó en el tratamiento aplicado con fertilizante ARCHÉ, sin tener una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los demás tratamientos.

Con respecto al pH demostró diferencias significativas entre los chiles chiltepín tratados con aplicación foliar de Lombri humus y los demás tratamientos. En relación con el promedio de pH 6.00 reportado en chiltepín (Mc Caughey-Espinoza et al., 2020). Se observó diferencias en acidez titulable, los tratamientos a los que se aplicó ARCHÉ, sin aplicación y Bayfolan (Comercial) son los que muestran similitudes mostrando diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento Lombri humus siendo este el de mayor contenido en porcentaje de ácido cítrico.

Tabla 3. Efecto de la aplicación de los fertilizantes sobre los sólidos solubles totales (°Brix), pH, acidez titulable e índice de sabor (% ácido cítrico) en chile chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*).

Tratamiento	SST (°Bx)	AT (% ácido cítrico)	pH	Índice de sabor
Humus	14.00 ± 1.39a	0.87 ± 0.06a	3.63 ± 1.69b	1.73
ARCHÉ	16.13 ± 2.24a	0.63 ± 0.12ab	5.47 ± 0.06a	2.44
Comercial	15.37 ± 0.67a	0.57 ± 0.06b	5.49 ± 0.05a	2.55
Testigo	14.37 ± 0.59a	0.67 ± 0.15ab	5.49 ± 0.02a	2.12

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

7.2 Comportamiento de compuestos bioactivos en chile chiltepín por efecto de la aplicación de biofertilizantes.

7.2.1 Concentración de ácido ascórbico.

El ácido ascórbico es un nutriente de vital importancia utilizado como indicador en el control de calidad de las frutas y hortalizas (Favell, 1998), en el contenido de ácido ascórbico se encontraron diferencias, siendo el tratamiento sin aplicación de fertilizante el aumento de este compuesto fue más notable en comparación con el tratamiento al que se le aplicó Lombrí humus (Figura 3).

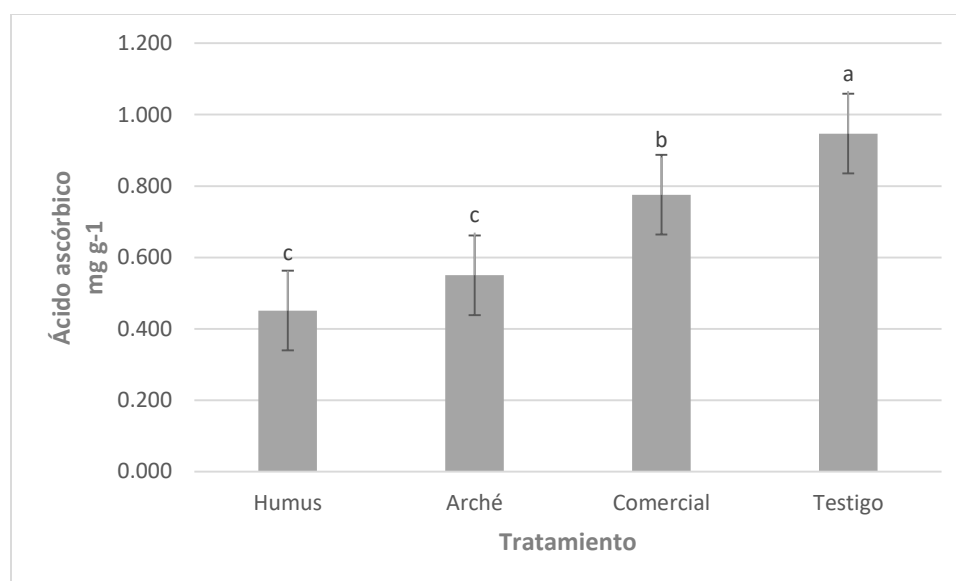


Figura 3. Efecto de la aplicación de fertilizantes en chile chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) en la concentración de ácido ascórbico. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

7.2.2 Concentración de carotenoides

Referente a la concentración de carotenoides amarillos (CA), carotenoides rojos (CR) y carotenoides totales (CT) (Figura 4), se observó que el tratamiento sin aplicación de

fertilizante presento una mayor concentración de carotenoides amarillos, rojos y totales, en cuanto a los demás tratamientos no se encontró alguna diferencia significativa. Butcher et al., (2012) mencionan que estos compuestos pueden variar en su concentración de acuerdo con las condiciones de estrés de la planta, aplicación de fertilizante, manejo poscosecha de los frutos y temperatura.

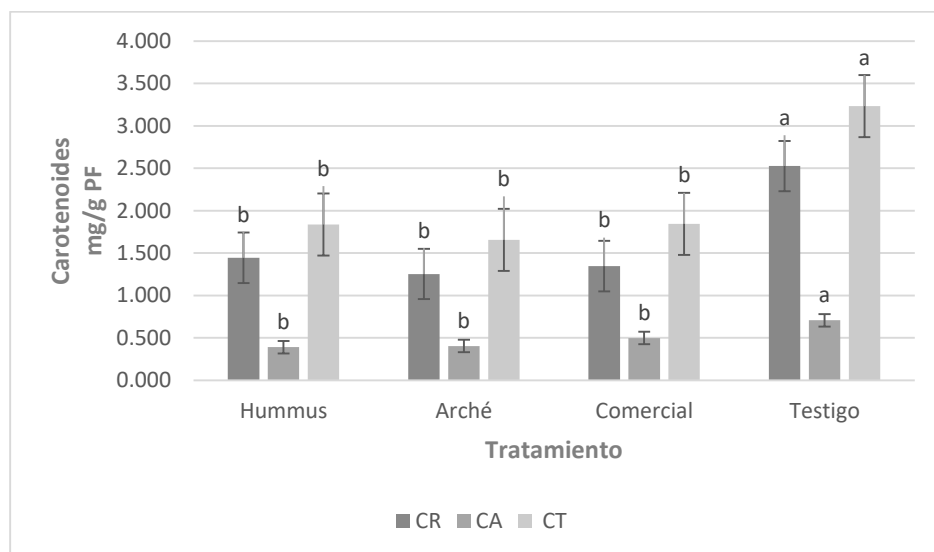


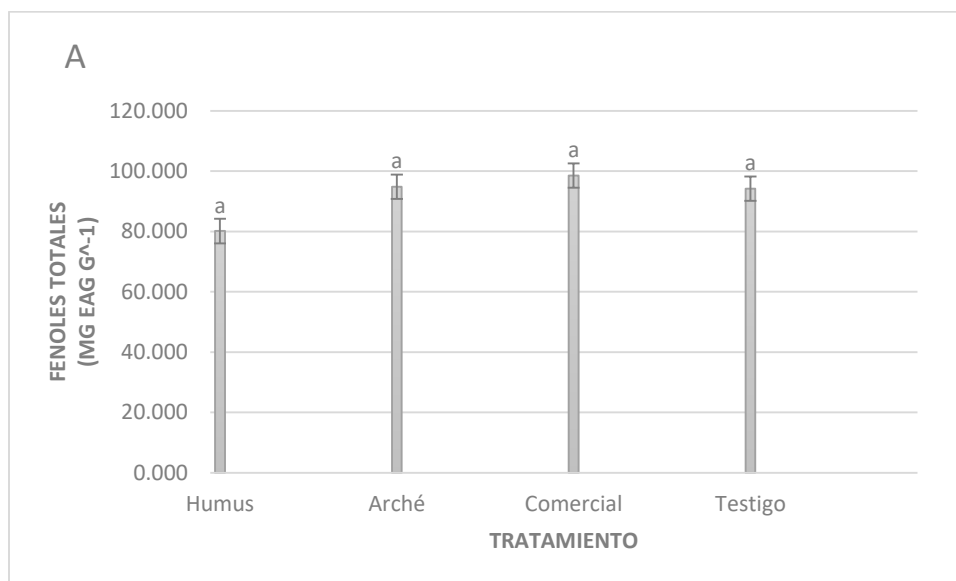
Figura 4. Efecto de la aplicación de fertilizantes en chile chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) en la concentración de carotenoides rojos (CR), carotenoides amarillos (CA) y carotenoides totales (CT). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

7.2.3 Concentración de fenoles y flavonoides

Referente al contenido de fenoles totales (Figura 5 A) en chile chiltepín después de la aplicación de los fertilizantes el tratamiento al que se le aplico fertilizante ARCHÉ presentó diferencia significativa con el tratamiento al de aplicación Lombri humus; sin embargo, los tratamientos aplicados con fertilizante ARCHÉ, comercial y sin aplicación no mostraron diferencia significativa alguna. Sin embargo, en los resultados por Sánchez et al., (2022) no observaron diferencias significativas algunas en chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.) al agregar inoculantes microbianos. Por otra parte, Pascale et al. (2017) mostraron que hubo un incremento en el contenido de fenoles en uva al aplicarle *T. harzianum*. La reacción clave

que vincula el metabolismo fenólico primario con el secundario es la enzima L-fenilalanina amonio liasa, pero la expresión de los genes de esta enzima está controlada por el estado de desarrollo, el tipo de célula y una amplia variedad de factores ambientales, así como el estrés en el que la planta se encuentre (Salveit, 2017).

Por otro lado, en la concentración de flavonoides (Figura 5 B) los tratamientos que se aplicaron Biofertilizante ARCHÉ y fertilizante comercial no hubo diferencia significativa comparados al tratamiento que se aplicó biofertilizante Lombri humus y sin aplicación de fertilizante, lo cual indica que si se aplica un fertilizante comercial y biofertilizante ARCHÉ no se encontrará diferencia significativa alguna en cuanto al tipo de fertilizante a utilizar.



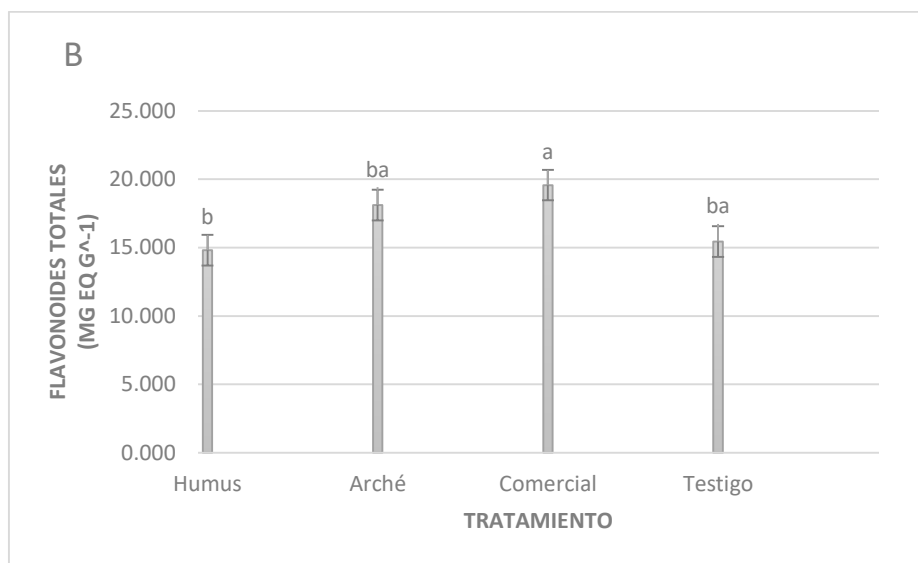


Figura 5. Efecto de la aplicación de fertilizantes en chile chiltepín (*Capsicum Annum* var. *Glabriusculum*), en el contenido de fenoles (A) y flavonoides (B). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

7.2.4 Variación en el contenido de capsaicina

El tratamiento que presento un mayor contenido de capsaicina fue al que se aplicó biofertilizante Arché, seguido del tratamiento Lombri Humus (Figura 6).

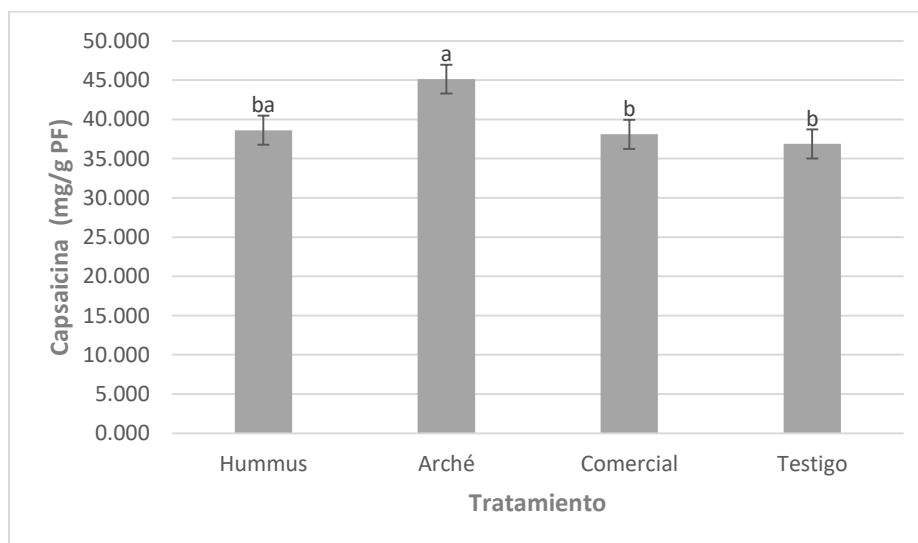


Figura 6. Efecto de la aplicación de biofertilizantes en chiltepín (*Capsicum Annum* var. *glabriusculum*) en la concentración de capsaicina. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

7.3 Actividad antioxidante no enzimática en chile chiltepín por efecto de la aplicación de biofertilizantes.

7.3.1 Variación de la actividad antioxidante mediante la capacidad de inhibición del radical DPPH'

En la Figura 7 A se muestra que en los tratamientos aplicados con biofertilizante ARCHÉ (con un promedio de 46.61 μM de Trolox g^{-1} PF), fertilizante comercial Bayfolan (48.61 μM de Trolox g^{-1} PF) y sin aplicación de fertilizante (47.59 μM de Trolox g^{-1} PF) no se presentó diferencia estadísticamente significativa entre ellos en comparación con el tratamiento al que se le aplicó biofertilizante Lombri Humus (39.97 μM de Trolox g^{-1} PF).

El comportamiento del radical DPPH puede deberse a la concentración de fenoles ya que en el tratamiento aplicado con fertilizante comercial presento un mayor contenido de estos; esto concuerda con lo reportado por Astello-García et al. (2015) ya que nos dice que la actividad antioxidante esta correlacionada con el contenido fenólico de las plantas y en los cultivares en los que no se observó correlación, la capacidad antioxidante podría estar asociada a otros compuestos antioxidantes como vitaminas, carotenos, ascorbato o glutatión. De igual forma otro factor que pudo haber contribuido a las variaciones de estos compuestos antioxidantes de los frutos fue la baja concentración de nitrógeno en los biofertilizantes, toda vez que cuando su disponibilidad es limitada; se afecta el balance de C/N (Carbono/ Nitrógeno) en las plantas y se limitan también procesos metabólicos; incluyendo la síntesis de metabolitos secundarios (Sepúlveda-Jiménez et al., 2003).

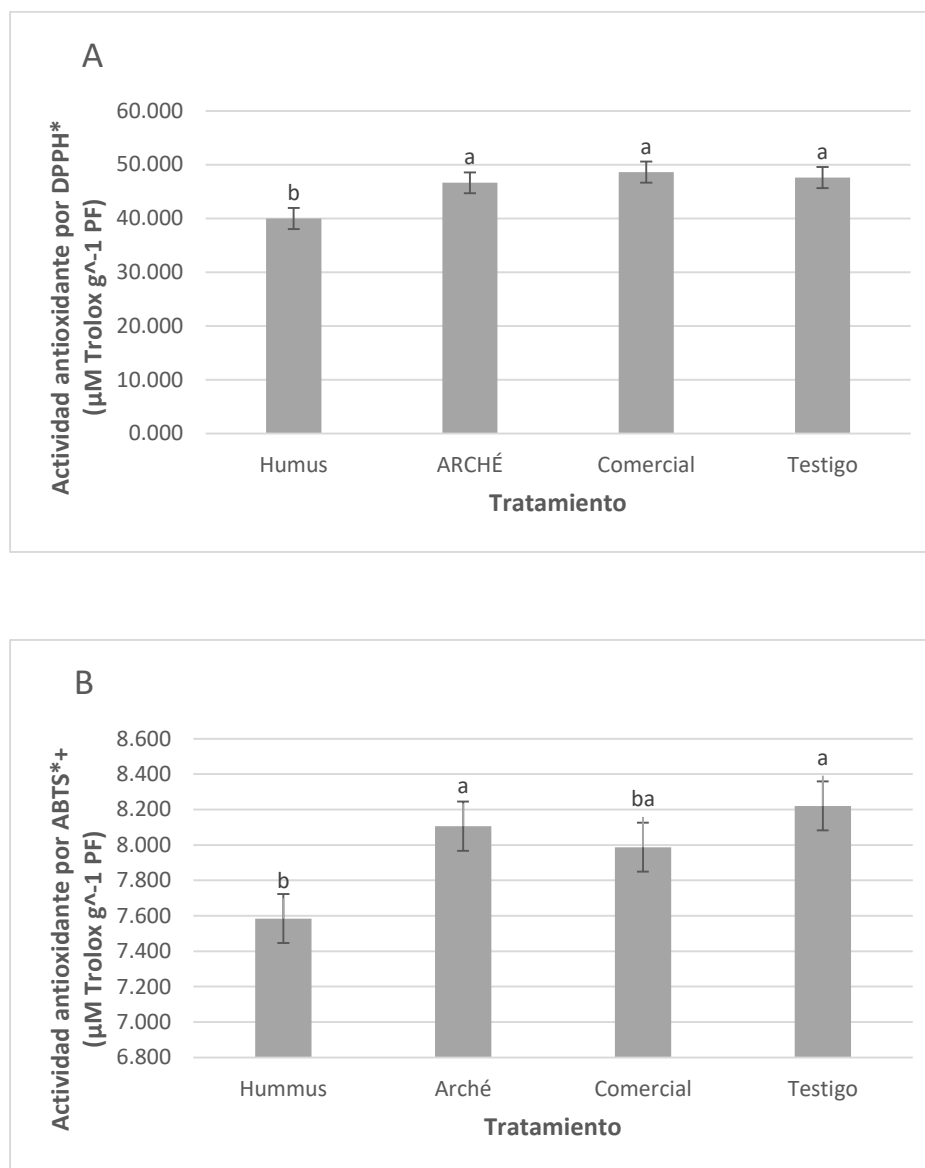


Figura 7. Efecto de la aplicación de biofertilizantes en chile chiltepín (*Capsicum Annum var. glabriusculum*) para la actividad antioxidante por el radical DPPH* (A) y ABTS*+ (B) y Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

7.3.2 Variación en la actividad antioxidante mediante la capacidad de inhibición del radical ABTS*+.

Para la actividad antioxidante por el radical ABTS (Figura 7 B) en los tratamientos que no hubo diferencia significativa alguna fue en el tratamiento aplicado con ARCHÉ (con un

promedio de 202.88 μM de Trolox g^{-1} PF), fertilizante comercial Bayfolan (199.92 μM de Trolox g^{-1} PF) y al tratamiento sin aplicación de fertilizante (205.74 μM de Trolox g^{-1} PF), en cuanto al tratamiento aplicado con Lombri humus (189.83 μM de Trolox g^{-1} PF) presento diferencia significativa con los demás tratamientos. Estos datos son mayores a los obtenidos por Mendoza, 2022 donde se evaluó la capacidad antioxidante y fenoles totales en *Capsicum spp.* Sin embargo, esta actividad puede estar relacionada con el contenido de flavonoides ya que el grupo de los flavonoides es uno de los metabolitos secundarios con propiedades hidrofílicas de mayor actividad antioxidantes que encontramos de manera natural en las plantas (Zhang et al., 2022).

8. CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos, la aplicación de biofertilizantes permitió mejorar notablemente en comparación a los fertilizantes comerciales, lo que sugiere su uso como una alternativa sustentable para la producción de las plantas y, por ende, colaborar a reducir la contaminación del suelo. A su vez, el comportamiento de los compuestos bioactivos ante la aplicación de biofertilizante tuvo una respuesta satisfactoria, ya que se logró la mayoría de los resultados favorables. Por lo tanto, estos hechos confirman la posibilidad de sustituir los fertilizantes comerciales a favor del uso eficiente de los biofertilizantes u otros insumos orgánicos.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Araiza Lizarde, Nidia, Araiza Lizarde, Evelia, & Martínez Martínez, Juan Guillermo. (2011). Evaluación de la germinación y crecimiento de Plántula de Chiltepín (*Capsicum annuum* L variedad *glabriusculum*) en invernadero. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(2), 170-175.
2. Arteaga, M.; N. Garcés; F. Guridi; J.A. Pino; A. López; J.L. Menéndez; O. Cartaya: Evaluación de las aplicaciones foliares de humus líquido en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) var. Amalia en condiciones de producción. *Revista Cultivos Tropicales*, 3 (27): 95-101, 2006
3. Association of Official Analytical Chemists International (AOAC). (2005). Official Methods of Analysis (18th edn). Association of Official Analytical Chemists International, Gaithersburg.
4. Astello-García, M. G., Cervantes, I., Nair, V., Santos-Díaz, M. del S., Reyes-Agüero, A., Guéraud, F., ... Barba de la Rosa, A. P. (2015). Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia* spp. cultivars with different domestication gradient. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43, 119–130. doi:10.1016/j.jfca.2015.04.016
5. Bañuelos, Noemí, Salido, Patricia L., & Gardea, Alfonso. (2008). Etnobotánica del chiltepín: Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 16(32), 177-205. Recuperado en 01 de marzo de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572008000200006&lng=es&tlng=es.
6. Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2005). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>.
7. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. 28, 25–30.

8. Beltrán-Pineda, M. E., y Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1). <https://doi.org/10.21789/22561498.1771>
9. Bennett, D. J. and Kirby, G. W. 2000. Constitution and biosynthesis of capsaicin. *J. Chem. Soc. C: Organic*. 442-446 pp.
10. Boraste, A., Vamsi, K.K., Jhadav, A., Khairnar, Y., Gupta, N., Trivedi, S., Joshi, B. 2009. Biofertilizers: A novel tool for agriculture. *International Journal of Microbiology Research*, 1(2), 23.
11. Butcher, JD, Crosby, KM, Yoo, KS, Patil, BS, Ibrahim, AMH, Leskovar, DI y Jifon (2012). Variación ambiental y genotípica de las concentraciones de capsaicinoides y flavonoides en chile habanero (*Capsicum chinense*). *HortScience horts*, 47(5), 574-579. Obtenido el 26 de junio de 2024 de <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.5.574>
12. Calito, G. M. P. "Determinación del Nivel de Pungencia en Unidades Scoville para *Capsicum annum* var. *aviculare* procedente de Regiones Productoras de Guatemala".
13. De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (s. f.). *Producción del chile mexicano*. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/produccion-del-chile-mexicano>
14. De Información Agroalimentaria y Pesquera, S. (s. f.). *El chiltepín, la importancia económica y biocultural del más peque*. gob.mx. <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-chiltepin-la-importancia-economica-y-biocultural-del-mas-pequeno-de-los-chiles>
15. De Información Agroalimentaria y Pesquera, S. (s. f.). *Producción agrícola*. gob.mx. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
16. Del Consumidor, P. F. (s. f.). *Biofertilizantes*. gob.mx. <https://www.gob.mx/profeco/articulos/biofertilizantes?idiom=es>
17. De Prensa y Colaboradores, O. (2021, 10 diciembre). *El chile como parte de la cultura alimenticia de México*. Centro de Investigación En Alimentación y Desarrollo (CIAD). <https://www.ciad.mx/el-chile-como-parte-de-la-cultura-alimenticia-de-mexico/>
18. Eguiarte Fruns, L. E. 2018 de Sonora a Yucatán. chiles en México: diversidad y domesticación. *Oikos*.

19. Escalera-Ordaz, Ana Karen, Guillén-Andrade, Héctor, Lara-Chávez, María Blanca Nieves, Lemus-Flores, Clemente, Rodríguez-Carpena, Javier German y Valdivia-Bernal, Roberto. (2019). Caracterización de variedades cultivadas de *Capsicum pubescens* en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10 (spe23), 239-251. Publicación electrónica del 20 de noviembre de 2020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2024>
20. Escamilla JCI, Cuevas MEY, Guevara FJ. Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Rev Fac Med UNAM*. 2009;52(2):73-75.
21. Favell, J. (1998). A comparison of the vitamin C content of fresh and frozen vegetables. *Food Chemistry*. 62 (1): 59-64
22. Fayos, O., Martínez, O., Ochoa-Alejo, N., & Garcés-Claver, A. (2018). Evolución del contenido de capsinoides y capsaicinoides durante la maduración de los frutos de «Chiltepín». *ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19930.57282>
23. Francisco, H. C., De Jesús, O. P. J., Emilio, O. R., María, H. G., & Marcela, F. V. M. I. (2017b, abril 26). *Atributos de calidad y contenido de compuestos bioactivos en diversos ecotipos de chiltepín (Capsicum annum var. L glabriusculum)*. <https://repositorio.uaaan.mx/handle/123456789/8375>
24. Fish, W. W., Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2002). A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(3), 309–317. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1069>
25. Hernández-Fuentes, A.D.; López-Vargas, E.R.; Pinedo-Espinoza, J.M.; Campos-Montiel, R.G.; Valdés-Reyna, J.; Juárez-Maldonado, A. Postharvest behavior of bioactive compounds in tomato fruits treated with Cu nanoparticles and NaCl stress. *Appl. Sci*. 2017, 7, 980.
26. *International Trade Center*. (2016). Trade map estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas. [Online] Disponible en: http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.

27. Jazmín, R. A. D. (2018, 1 octubre). *Capacidad antioxidante y actividad antifúngica de los extractos de Chiltepín (Capsicum annuum) cultivado bajo diferentes tipos de cubiertas*. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/handle/231104/2406>.
28. Khandaker, M. M., Rohani, F., Dalorima, T., & Mat, N. (2017). Effects of Different Organic Fertilizers on Growth, Yield and Quality of *Capsicum Annuum* L. Var. Kulai (Red Chilli Kulai). *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 14(1), 185-192. <https://doi.org/10.13005/bbra/2434>.
29. Klein, B. P., & Perry, A. K. (1982). Ascorbic Acid and Vitamin A Activity in Selected Vegetables from Different Geographical Areas of the United States.
30. La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro | Alianza Mundial por el Suelo | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/es/c/1127957/>
31. Martínez, L.; Cilia, L.; Beltrán, J.A., Roncales, P. 2006. Effect of *CapsicumAnnum* (Red Sweet and Cayenne) and *Pipper nigrum* (Black and White) pepper powders on the shelf life of fech pork sausages packaged in modified atmosphere. *Journal of Food Science*, 71: 48-53
32. Martínez-Navarrete, N., del Mar Camacho Vidal, M., & José Martínez Lahuerta, J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética*, 12(2), [https://doi.org/10.1016/S1138-0322\(08\)75623-2](https://doi.org/10.1016/S1138-0322(08)75623-2)
33. Mc Caughey-Espinoza, Diana Miriam, Buitimea-Cantúa, Génesis V., Buitimea-Cantúa, Nydia E., Ayala-Astorga, Gloria Irma, & Ochoa-Meza, Andrés. (2020). Propiedades fisicoquímicas y rendimiento de frutos de chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* D.) cultivados en diferentes condiciones de crecimiento. *Idesia (Arica)* , 38 (3), 77-86. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300077>.
34. Medina-Lara, F., Echevarría-Machado, I., Pacheco-Arjona, R., Ruiz-Lau, N., Guzmán-Antonio, A., & Martinez-Estevez, M. (2008). Influence of Nitrogen and Potassium Fertilization on Fruiting and Capsaicin Content in Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *HortScience*, 43(5), 1549-1554. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.5.1549>.

35. Méndez-Trujillo, V., González-Mendoza, D., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2005). Contenido de carotenoides y color extractable de nuevos cultivares en chile pimienta. *Revista Chapingo serie horticultura*, 11(2), 215-218.
36. Mendoza Roldan, K. P. (2022). Evaluación de la capacidad antioxidante y fenoles totales del *Capsicum Spp.* "Ajíes" cultivados en el norte del Perú.
37. Ordaz, P. L., & Fernández, J. Y. (2023). Propiedades farmacológicas del chile (*Capsicum*) y sus beneficios en la salud humana: Una revisión bibliográfica. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2).
<https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.873>
38. Pascale, A., Vinale, F., Manganiello, G., Nigro, M., Lanzuise, S., Ruocco, M., ... Lorito, M. (2017). Trichoderma y sus metabolitos secundarios mejoran el rendimiento y la calidad de las uvas. *Crop Protection*, 92, 176–181. doi: 10.1016/j.cropro.2016.11.010
39. Pineda, M. E. B., Author_Id, N., Figueroa, A. A. B., & Author_Id, N. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Mutis*, 12(1).
<https://doi.org/10.21789/22561498.1771>
40. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Original contribution antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay.
41. Riquelme, G. O. L. (2003). Chilli. Especia del nuevo mundo. *Ciencias*, (069).
42. Sánchez-Rodríguez, E., Leyva, R., Constán-Aguilar, C., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2012). Grafting under water stress in tomato cherry: Improving the fruit yield and quality. *Annals of Applied Biology*, 161(3), 302–312. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2012.00574.x>
43. Sánchez, Mario, Ruíz-Sánchez, E, Muñoz-Rodríguez, D, Chan Cupul, W, & Medina-Dzul, K. (2022). Efecto de inoculantes microbianos sobre los compuestos bioactivos y actividad antioxidante del chile xcat'ik (*Capsicum annuum L.*). *Biotecnología*, 24 (3), 123-131. Publicación electrónica del 19 de junio de 2023. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1691>

44. Sepúlveda-Jiménez G; Porta-Ducoing H; Rocha-Sosa M. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21: 355-363.
45. Urango Marchena Luz Amparo, Montoya Parra Gina Alejandra, Cuadros Quiroz María Adelaida, Henao Diana Carolina, Zapata Paula Andrea, López Mira Leidy et al . Efecto de los compuestos bioactivos de algunos alimentos en la salud. *Perspect Nut Hum* [Internet]. 2009 [cited 2024 Mar 06] ; 11(1): 27-38. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-410820090001000003&lng=en.
46. *Vista de Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas*. (s. f.). <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/Biofertilizantes-alternativa-biotecnologica-para-agroecosistemas/1858>
47. Waterman, P. G., & Mole, S. (1994). Analysis of phenolic plant metabolites. Blackwell scientific publications.
48. Zayed, M. S., Hassanein, M. K. K., Esa, N. H., & Abdallah, M. M. F. (2013). Productivity of pepper crop (*Capsicum annuum* L.) as affected by organic fertilizer, soil solarization, and endomycorrhizae. *Annals of Agricultural Sciences*, 58(2), 131-13.
49. Zhang, F., Li, X., Wu, Q., Lu, P., Kang, Q., Zhao, M., Wang, A., Dong, Q., Sun, M., Yang, Z., & Gao, Z. (2022). Selenium Application Enhances the Accumulation of Flavones and Anthocyanins in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(41), 13431–13444. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c04868>