

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



Evaluación de vermicompost en el cultivo de chile jalapeño
como alternativa de fertilización en campo

Por:

JULIO ARTURO MORENO MUÑOZ

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México

Junio de 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Evaluación de vermicompost en el cultivo de chile jalapeño como
alternativa de fertilización en campo

Por:

JULIO ARTURO MORENO MUÑOZ

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por:

Dra. Norma Rodríguez Dimas
Presidente

Dr. Alejandro Moreno Reséndez
Vocal

M.C.A. Rafael Ávila Cisneros
Vocal

Dr. Héctor Javier Martínez Agüero
Vocal suplente

Dr. J. Isabel Márquez Mendoza
Coordinador De La División De Carreras Agronómicas



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México

Junio de 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Evaluación de vermicompost en el cultivo de chile jalapeño como
alternativa de fertilización en campo

Por:

JULIO ARTURO MORENO MUÑOZ

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

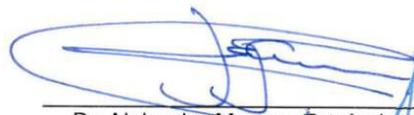
INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por:

Aprobada por el comité de asesoría



Dra. Norma Rodríguez Dimas
Asesor Principal



Dr. Alejandro Moreno Reséndez
Coasesor



M.C.A. Rafael Ávila Cisneros
Coasesor



Dr. Héctor Javier Martínez Agüero
Coasesor

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Dr. J. Isabel Márquez Mendoza
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna por brindarme las enseñanzas durante este largo camino.

A mis profesores: Por enseñarme todo lo que sé y más que eso, guiarme para ser una mejor persona y profesional.

A mis padres: Julio Arturo Moreno Martínez Y Raquel Guadalupe Muñoz García, por su apoyo emocional y económico incondicional

A mi asesor principal: Dr. Norma Rodríguez Dimas, por compartir sus conocimientos y guiarme en el proceso de la presente tesis.

A mis amigos y compañeros: gracias por los maravillosos momentos que pasamos. Creo que todos hemos aprendido y seguimos aprendiendo unos de otros, tanto profesional como personalmente. Y eso es enriquecedor en ambas áreas. Un agradecimiento especial a todos mis amigos y amigas que me ayudaron en la ejecución de la tesis.

DEDICATORIA

Gracias a mis padres por ser los principales impulsores de mis sueños, gracias a ellos por siempre confiar en mí, creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por acompañarme siempre en cada una de las largas y agotadoras noches de estudio, gracias a mi padre por querer siempre lo mejor para mí y luchar para que lo tenga, gracias por cada palmada en la espalda y cada palabra que me has dado a lo largo de mi carrera y de mi vida.

RESUMEN

Los abonos orgánicos representan una alternativa económica y respetuosa con el ambiente para reducir el uso de fertilizantes sintéticos y mejorar la calidad de los cultivos. La siguiente investigación se realizó en el campo experimental de la de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. El objetivo fue evaluar el rendimiento y la calidad del fruto de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivado con fertilizantes orgánicos en La Comarca Lagunera. El experimento se estableció en el ciclo agrícola primavera-verano del año 2021, Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cinco tratamientos. Se utilizaron diez plantas por tratamiento para su análisis. Los datos se analizaron usando el análisis de varianza empleando el Paquete Estadístico SAS. La fertilización con compost más fertilizante sintético tuvo un efecto positivo en la altura de la planta. En cuanto a la calidad de fruto, el tratamiento con compost solo o en combinación superó al fertilizante sintético en picor, espesor de pulpa, ancho y largo, y peso de fruto. Para el número de frutos de chile jalapeño, las plantas desarrolladas en el compost más tratamiento sintético obtuvieron mejores resultados que la fertilización sintética y las plantas testigo. Se observaron efectos positivos con la aplicación de abonos orgánicos, vermicompost más sintético, compost más sintético y compost fueron estadísticamente similares y superiores al resto de los tratamientos. Vermicompost más fertilizante sintético en la producción de chile jalapeños, con 73.9 t/ha. Y la menor producción la muestra el testigo con 18.6 t/ha. Tuvo un incremento porcentual de 47.8 % más producción que la fertilización sintética y 74.8% más rendimiento, que el testigo donde la aplicación de vermicompost resultó en el mejor rendimiento de frutos, mientras que el compost destacó en calidad de fruto.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, Calidad, Fertilizantes Orgánicos, Materia Orgánica, Rendimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	3
1.4. Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen e historia	4
2.2. Importancia económica.....	6
2.3. Producción nacional de chile	7
2.4. Clasificación taxonómica	8
2.5. Características morfológicas.....	8
2.5.1. Planta	8
2.5.2. Raíz.....	8
2.5.3. Tallo	9
2.5.4. Hojas	9
2.5.5. Flor	9
2.5.6. Fruto	10
2.6. Propiedades nutricionales	10
2.7. Requerimientos edafoclimaticos.....	11
2.8. Fertilización	12
2.8. Fertilización orgánica	13
2.9. Beneficios de la fertilización orgánica.....	14
2.10. Efecto de los fertilizantes orgánicos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.....	15
2.10.1.Efectos físicos.....	15
2.10.2. Efectos químicos	15
2.10.3. Efectos biológicos	16
2.11. Compost.....	16
2.12. Proceso de compostaje.....	17
2.13. Factores que influyen en el proceso de compostaje	18
2.13.1. Oxígeno.....	18
2.13.2. Temperatura.....	18
2.13.3. Humedad.....	19

2.14. Vermicompost	19
2.15. Proceso de obtención del vermicompost.....	19
2.15.1. Precompostaje o acondicionamiento	20
2.15.2. Vermicompostaje	21
2.15.3. Maduración	21
2.16. Papel de las lombrices en el proceso de vermicompostaje	22
2.17. Propiedades fisicoquímicas del vermicompost	23
2.17.1. pH	23
2.17.2. Conductividad eléctrica	24
2.17.3. Nitrógeno	24
2.17.4. Relación Carbono/Nitrógeno	25
2.17.5. Materia orgánica	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Ubicación del sitio experimental	26
3.2. Condiciones climáticas	26
3.3. Condiciones de campo.....	27
3.4. Material vegetal	27
3.5. Diseño experimental	27
3.6. Preparación del terreno.....	28
3.6.1. Barbecho y rastreo	28
3.6.2. Trazo de surcos.....	28
3.7. Establecimiento en campo.....	28
3.8. Desmalezado	29
3.9. Riego	29
3.10. Presencia de plagas y enfermedades	29
3.11. Cosecha	29
3.12. Variables evaluadas	30
3.12.1. Longitud del fruto	30
3.12.2. Diámetro del fruto	30
3.12.3. Peso del fruto	30
3.12.4. Número de lóculos.....	30
3.12.5. Espesor de la pulpa	31
3.12.6. Pungencia	31
3.13. Análisis estadístico.....	31
4.4.4. Número de lóculos.....	38
4.4.5. Espesor de pulpa	38
4.4.6. Pungencia	39
VI. LITERATURA CONSULTADA.....	41
VII. ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Relación de los diez principales países productores de chile	6
Cuadro 2 Volumen de producción nacional de chile jalapeño	7
Cuadro 3 Parámetros de calidad del vermicompost.....	23
Cuadro 4 Tratamientos para evaluar el desarrollo del chile jalapeño	27
Cuadro 5: Parámetros de calidad de frutos de chile jalapeño	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución de climas en la región Noreste de México	26
Figura 2 Altura de plantas de chile a los 30, 45 y 60 días después del trasplante	32
Figura 3 Número de frutos de chile jalapeño con la aplicación de diferentes fertilizantes	33
Figura 4 Rendimiento de chile jalapeño con la aplicación de diferentes fertilizantes	34
Figura 5 Peso de frutos de jalapeño con la aplicación de diferentes fertilizantes	35
Figura 6 Diámetro polar de frutos de chile jalapeño con la aplicación de diferentes fertilizantes	36
Figura 7 Diámetro ecuatorial de frutos de chile jalapeño con la aplicación de diferentes fertilizantes	37

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Anexo: Análisis de varianza para la variable altura (30 ddt).....	49
2. Anexo: Análisis de varianza para la variable altura (45 ddt).....	49
3. Anexo: Análisis de varianza para la variable altura (60 ddt).....	49
4. Anexo: Análisis de varianza para la variable número de fruto	50
5. Anexo: Análisis de varianza para la variable rendimiento (t/ha)	50
6. Anexo: Análisis de varianza para la variable peso de fruto	50
7. Anexo: Análisis de varianza para la variable diámetro polar	51
8. Anexo: Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial.....	51
9. Anexo: Análisis de varianza para la variable número de lóculos	51
10. Anexo: Análisis de varianza para la variable pungencia	52
11. Anexo: Análisis de varianza para la variable espesor de pulpa	52

I. INTRODUCCIÓN

A medida que la población sigue aumentando, el mundo deberá afrontar la creciente demanda de alimentos. Siete décadas atrás, la revolución verde aumentó la producción agrícola mundial, salvó a casi mil millones de personas del hambre y la desnutrición; desencadenó el desarrollo de fertilizantes y otros avances (Vejan *et al.*, 2016). Para aumentar la productividad de los cultivos se han utilizado ampliamente fertilizantes sintéticos, plaguicidas y herbicidas. Los fertilizantes sintéticos aumentan el rendimiento de los cultivos porque las plantas usan estos nutrientes proporcionados directa o indirectamente por estos fertilizantes inorgánicos (Maji *et al.*, 2016).

En los últimos 50 años, el uso y los precios de los fertilizantes sintéticos, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio, han aumentado exponencialmente en todo el mundo. Debido a la baja eficiencia de uso, aproximadamente la mitad de cada tonelada métrica de fertilizante se evaporará, se lixiviará o se lavará en las vías fluviales locales, lo que provocará la contaminación de las aguas subterráneas y la eutrofización del ecosistema, lo que amenazará la salud humana, animal y vegetal (Huang *et al.*, 2019)

Dado que el suelo es el componente básico de la producción agrícola, mantener sus propiedades físicas, químicas y biológicas en un nivel óptimo con un cuidado especial contribuirá a garantizar la seguridad alimentaria (Durukan, *et al.*, 2019) La agricultura orgánica, puede proporcionar alimentos saludables mientras se mantiene la productividad, aumenta la fertilidad del suelo y la biodiversidad y reduce la huella de carbono de la producción de alimentos. Además, tiene un gran potencial tanto para los agricultores como para los consumidores (Cardone, *et al.*, 2021) Los fertilizantes orgánicos son materiales obtenidos de la descomposición natural de sustancias orgánicas bajo la influencia de microorganismos presentes en el medio ambiente.

Presenta parte del nitrógeno en forma orgánica más o menos estable que se mineraliza gradualmente y queda disponible para las plantas. constituyen un importante factor en la regulación de muchos procesos involucrados en la productividad agrícola, son bien conocidas sus principales funciones, como sustrato, portador o mantillo, para mantener los niveles iniciales de materia orgánica del suelo, y para complementar o sustituir los fertilizantes sintéticos. Dependiendo de la tasa de aplicación, aumentan el contenido de materia orgánica del suelo, la capacidad de retención de agua y el pH, al tiempo que aumentan la disponibilidad de potasio, calcio y magnesio (Ramos *et al.*, 2014)

1.1. Planteamiento del problema

Los agricultores a día de hoy continúan usando fertilizantes sintéticos de manera indiscriminada, debido a la falta de conocimiento sobre alternativas, como el uso de insumos orgánicos. Los agricultores siguen utilizando una agricultura tradicional menos respetuosa con el medio ambiente, destruyendo su flora natural, alterando su entorno, creando resistencia en plagas y enfermedades, y reduciendo la calidad y los rendimientos (Villavicencio, 2020).

El abuso de de productos sintéticos es uno de los principales causas de la contaminación del suelo, aumentando la salinidad, traduciéndose en una producción poco rentable por lo que es imperativo encontrar opciones respetuosas con el con el ambiente y satisfagan las necesidades de los productores y consumidores (Villavicencio, 2020).

1.2. Justificación

En México, los chiles jalapeños se encuentran entre los cultivos de mayor valor económico debido a su alta rentabilidad (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2020). Para lograr una alta producción, los agricultores usan cada vez más fertilizantes, lo que significa que los cultivos demandaran dosis cada vez más altas, lo que lleva a la degradación de los factores fisicoquímicos del suelo. Lo que reduce la capacidad de retención de agua y la capacidad de suministro de nutrientes para el cultivo (Díaz *et al.*, 2013).

Ante este problema, el uso de fertilizantes orgánicos puede convertirse en una fuente eficaz y económica de suministrar nutrientes para las plantas. (Morón y Alayón, 2014), los beneficios de utilizar fertilizantes orgánicos son extensos, ya que pueden prevenir, controlar y disminuir la entrada de patógenos y enfermedades del suelo, además de aportar materia orgánica y nutrientes al suelo (Macías *et al.*, 2012).

1.3. Objetivos

- Evaluar el potencial del vermicompost como alternativa de fertilización en campo en el cultivo de chile jalapeño.
- Evaluar el efecto de la aplicación de vermicompost en el rendimiento y calidad del cultivo.

1.4. Hipótesis

- La fertilización orgánica, además de satisfacer las necesidades nutricionales de los chiles jalapeños, aumentará el rendimiento y mejorará la calidad de fruto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen e historia

En México se conoce como chile, proveniente del náhuatl chilli o xilli, al fruto de plantas que pertenecientes a la familia de las solanáceas y al género *Capsicum* (Aguirre y Muñoz, 2015). El chile es una planta anual o perenne originaria de los trópicos de las Américas, principalmente de México y Centroamérica (Zhang *et al.*, 2019).

En cuanto al origen de los chiles, no existe consenso en cuanto al lugar exacto de origen, debido a que se encuentra ampliamente distribuido en todo el mundo. Algunos investigadores sitúan su origen en las regiones áridas de las montañas de los Andes, en lo que se convirtió en Perú y Bolivia, y luego emigró a las regiones de tierras bajas tropicales de las Américas (Bosland y Votava, 2012).

Sin embargo, investigaciones realizadas ubican a México como el centro de origen del chile, a lo largo del territorio se puede encontrar una gran variabilidad genética y morfológica de chiles tanto cultivados como silvestres (Hernández-Verdugo *et al.*, 2012). Investigaciones antropológicas indican como área de domesticación del chile, a las regiones noreste y centro-oriente del país (Pérez-Castañeda *et al.*, 2015).

Los restos más antiguos de semillas de chile se encontraron en el Valle de Tehuacán, Puebla, y en Ocampo, Tamaulipas, las cuales tienen aproximadamente entre 7 y 9 mil años (Hernández- Pérez *et al.*, 2020). Diversos códices antiguos señalan la importancia de este cultivo para los pueblos prehispánicos, no solo como alimento, sino que le daban varios usos: militares, medicinales, comerciales. (Moreno, 2020). Los Mexicas exigían a los pueblos conquistados el pago de un tributo de

mercancías, entre ellas cuatrocientos fardos de chile. En el ámbito religioso, los antiguos nahuas empleaban el chile en los platillos ofrendados a los dioses, así como era un ingrediente prohibido durante el ayuno religioso (Mazzetto, 2018).

El chile fue cultivado por siglos por nativos mesoamericanos, siendo junto al maíz, frijol y la calabaza, base de su alimentación (Moreno, 2020). Es a partir de la llegada de colonizadores europeos que su cultivo se extendió por todo el mundo (Santos *et al.*, 2018). Introducido a Europa por Cristóbal Colón en su primera expedición al nuevo mundo, y posteriormente distribuido en el resto del mundo gracias a comerciantes portugueses (Al-Khayri *et al.*, 2021).

En México se han generado una gran variedad de tipos, que se caracterizan por su heterogeneidad de formas, colores y tamaño del fruto (Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017). Su popularidad se debe a la combinación de color, sabor y picante. Los chiles se conocen desde hace mucho tiempo en todo el mundo como una especia deliciosa con un olor, sabor y aroma únicos. (Korkutata *et al.*, 2015).

Entre la amplia variedad de chiles cultivados en México, el jalapeño está entre los chiles más famosos y fácilmente reconocibles. Su popularidad proviene de una combinación de su sabor único, picante y uso continuo como bocadillo (DeWitt y Lamson, 2015), Este chile fue nombrado en honor a la ciudad de Xalapa, escrito antiguamente “Jalapa”, en el estado de Veracruz, México, centro tradicional de su producción (Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017).

2.2. Importancia económica

El área de siembra de chile en el mundo es de 1, 990,926 hectáreas de chiles frescos, con una producción total de 38, 027,164 toneladas. China es el principal actor en la producción mundial. El área sembrada en 2019 fue de 796,380 ha, lo que representa el 40% de la superficie sembrada en el mundo, y su producción fue de 18, 978,027 toneladas (FAOSTAT, 2019). México figura como el segundo mayor productor a nivel mundial con una producción de 3, 238,245 t (Cuadro 1) (SIAP, 2020)

Cuadro 1 Relación de los diez principales países productores de chile

País	Área (ha)	Rendimiento (t/ha)	Producción (t)
China	796,380	23.8	18,978,027
México	149,577	21.6	3,238,245
Turquía	92,089	28.5	2,625,669
Indonesia	300,377	8.6	2,588,633
España	21,430	65.4	1,402,380
Egipto	40,422	18.9	764,292
Nigeria	99,715	7.6	753,116
Argelia	21,767	31.0	675,168
Estados Unidos	19,627	31.8	624,982
Túnez	20,103	22.1	443,632

Fuente: FAO, 2020

2.3. Producción nacional de chile

El chile es uno de los cultivos hortícolas más importantes en México, no solo para el consumo, sino también tiene una gran demanda en la industria cosmética y farmacéutica (Vázquez *et al.*, 2020). Este cultivo representa un 20.2% de la producción nacional de hortalizas, siendo Sinaloa el principal productor nacional con una producción de 757,769 t, seguido por Chihuahua con 682,085 t (SIAP, 2020). Es un producto fundamental para el comercio de exportación, siendo los Estados Unidos el principal destino, seguido por Canadá y Guatemala (SAGARPA, 2016)

Los chiles más relevantes a nivel nacional son el jalapeño, serrano, mirasol y pimiento morrón, que representan de 70 a 80 % de la producción nacional. El tipo picante, se consume principalmente localmente, mientras que el tipo dulce está dirigido al mercado de exportación. (Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017). El jalapeño es uno de los más importantes económicamente debido a su amplio consumo, grandes márgenes de ganancia y alta oferta laboral (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2020). Los estados de Chihuahua, Sinaloa, Michoacán, Jalisco y Sonora concentran el 83% de la producción nacional de chile en la variedad jalapeño (Cuadro 2) (SIAP, 2020).

Cuadro 2 Volumen de producción nacional de chile jalapeño

Estado	Área (ha)	Rendimiento (t/ha)	Producción (t)
Chihuahua	9,175.09	40.88	375,120.13
Sinaloa	4,394.90	33.42	146,875.82
Michoacán	2,214.16	37.68	83,438.24
Jalisco	1,625.08	35.86	58,274.97
Sonora	1,306.00	32.75	42,776.57

Fuente: SIAP, 2020

2.4. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de las plantas de Chile correspondiente al filo Magnoliophyta; clase, Magnoliopsida; orden Solanales; familia, Solanaceae; y género *Capsicum* (CABI, 2021). El género *Capsicum* pertenece a la familia de las Solanaceae e incluye diferentes variedades de chiles, que se identifican fácilmente por su tamaño, forma, color y picor (Pérez-Castañeda *et al.*, 2015). Actualmente, hay cinco especies cultivadas de *Capsicum*, a saber, *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens* (Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017). *C. annuum* comprende varios miles de cultivares, incluidos los chiles picantes y las formas no picantes, los pimientos dulces o morrones, cultivados en todo el mundo (Samuels, 2015).

2.5. Características morfológicas

2.5.1. Planta

El Chile es una planta monoica, con los dos sexos unidos en la misma planta, y es auto fecundante, aunque puede ser fecundada por el polen de plantas vecinas. Es una planta anual con tallos ramificados, hojas oblongas, lanceoladas y flores blancas (Mendoza, 2012).

2.5.2. Raíz

Posee una raíz axonomorfa que es abastecida y fortalecida por una gran cantidad de raíces secundarias. La mayoría de las raíces se encuentran cerca de la superficie del suelo, en dirección horizontal. Siempre que las condiciones de desarrollo sean suficientes, la longitud del sistema radicular puede alcanzar los 30-50

cm y la profundidad de crecimiento es de 30-60 cm (Bosland y Votava, 2012). Normalmente, el peso de la raíz es aproximadamente el 10% del peso total de la planta, aunque en las variedades modernas el volumen de la raíz es relativamente pequeño en comparación con el resto de la planta (Solis, 2015).

2.5.3. Tallo

Los tallos son esencialmente herbáceos, pero al alcanzar cierta edad, los tallos se lignifican ligeramente. Su crecimiento es limitado y erguido, y su tamaño promedio varía entre 0.5-1.5 m. Envía dos ramas desde una cierta altura (Aduato *et al.*, 2014), y continúa ramificándose con 2 o 3 ramificaciones hasta la parte basal de la planta, de los tallos secundarios se originan las yemas y la masa foliar (Bosland y Votava, 2016).

2.5.4. Hojas

Las hojas son simples, alternas y lanceoladas, con ápice muy marcado y un pecíolo largo poco llamativo. La cara superior carece de pubescencia y es de un verde intenso y brillante. Las nervaduras parten de la base de la hoja como una prolongación del pecíolo, como las secundarias, son obvias, por lo que llegan al borde de la hoja. Los estomas se forman en las primeras etapas del desarrollo de las hojas y su densidad inicial aumenta a medida que la hoja se expande (Villavicencio, 2020).

2.5.5. Flor

Las flores suelen aparecer solitarias, pero debido a la ramificación, parecen axilares. Su fecundación es claramente autógama, no excediendo el 10% de alogamia (Mendoza, 2012). En la mayoría de las variedades de pimiento, la floración

comienza con una sola flor en el primer nudo de ramificación. Después de que aparezca la primera flor, las otras se producirán en cada nudo adicional, aumentando geométricamente, por lo que para obtener buenos rendimientos, se debe establecer una estructura adecuada de la planta (Solis, 2015).

2.5.6. Fruto

El fruto tiene forma de baya, semicartilaginosa, cuyo color varía según la variedad, y algunos cultivares cambian de verde a amarillo o naranja y rojo al final del ciclo cuando están maduros. Las semillas son pequeñas y se insertan en las cavidades de la fruta (Díaz *et al.*, 2013). Puede tener dos o más cavidades, cada una dividida por la placenta central, que contiene vesículas especializadas para la producción de resinas oleaginosas y capsaicinoides (Anguiano, 2010).

Los frutos de los pimientos picantes se clasifican como no climatericos, lo que significa que si se dejan en la planta, los frutos pueden madurar normalmente, pero si se cosechan en estado verde, no madurarán de forma natural. A medida que maduran, el contenido de clorofila disminuye mientras que el contenido de caroteno aumenta al mismo tiempo (Moreno, 2017).

2.6. Propiedades nutricionales

El chile tiene excelentes propiedades nutricionales y es beneficioso para la salud, estimula el metabolismo del cuerpo. Lo que conduce a un mayor consumo de calorías, una buena digestión, aumento de la producción de jugo gástrico y la disminución del colesterol en sangre, es un anticoagulante natural que reduce el riesgo de infarto. (Pérez y Rivera, 2011).

Estos beneficios para la salud se deben a una variedad de metabolitos bioactivos como capsaicinoides, flavonoides, vitamina A (carotenoides), vitamina C (ácido ascórbico), vitamina E (alfa-tocoferol), vitamina K y vitamina B (Cuadro 3) (Moreb *et al.*, 2020). En su composición química contiene capsaicinoides, incluyendo capsaicina, dihidrocapsaicina, nordihidrocapsaicina, homodihidrocapsaicina y homocapsaicina, las cuales se sintetizan y acumulan en el tejido placentario, dando a las semillas una defensa química (Mejia, 2013).

2.7. Requerimientos edafoclimaticos

El chile es una planta que requiere suelos fértiles, profundos (al menos 60 cm) con buena estructura y buen drenaje, ya que es muy sensible al exceso de agua, que puede ocasionar pudriciones de cuello y tallo (Sierra, 2013). Por otro lado, el pH óptimo para algunos autores oscila entre 6,0 y 6,5 (Alvarez y Pino, 2018). En contraste, otros autores indican un rango de pH de 5.5 a 7.0, lo que favorece la disponibilidad y absorción de nutrientes (Dionizis *et al.*, 2013). Además, los chiles son moderadamente sensibles a la salinidad (2,5 dS/m) y el valor de conductividad de 4 dS/m es demasiado alto (González, 2012).

Los pimientos crecen bien durante la estación cálida porque son sensibles a las heladas y al frío extremo, por lo que la exposición a temperaturas frías puede provocar flores inusuales, como pétalos marchitos o rizados (Alvarez y Pino, 2018). Los pimientos necesitan una humedad relativa de alrededor del 75% al 90%. Además, esta planta tiene altos requerimientos de luz, pero la exposición durante la etapa vegetativa es muy alta (Dionizis *et al.*, 2013)

2.8. Fertilización

Entre los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, los principales son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), ya que generalmente los cultivos requieren grandes dosis para obtener altos rendimientos. Las principales fuentes de nitrógeno para los cultivos son la mineralización de la materia orgánica, los fertilizantes sintéticos y la aplicación orgánica. Dado que la mineralización es un proceso microbiano y está muy influenciado por la temperatura y la humedad del suelo, la disponibilidad de nitrógeno en el suelo varía ampliamente (Inzunza-Ibarra, 2010).

El cultivo de chile responde bien a una dosis de unos 225 kg de N por hectárea, que debe ser aplicado en al menos cuatro partes, por el alto riesgo de lixiviación, si el cultivo se riega regularmente. Los fertilizantes se aplican de la siguiente manera: primera siembra al trasplantar, segunda después del aclareo, tercera aplicación antes de la floración y finalmente cuarta, justo después del primer corte o pinzado. (INIFAP, 2015)

Los elementos menores como hierro, cobre, zinc, magnesio y boro, sirven para evitar deficiencias de éstos se puede incluir en las prácticas de manejo en siembras comerciales de pimiento. La deficiencia de un micronutriente perjudica el desarrollo de la planta, haciéndola vulnerable al ataque de plagas y proliferación de enfermedades (Cabrera y Tapuy, 2021).

2.8. Fertilización orgánica

El excesivo uso de productos sintéticos en la agricultura puede causar varios problemas, como impactos ambientales inesperados, degradación biológica del suelo y contaminación del agua (Taiwo *et al.*, 2019). Los abonos orgánicos representan una alternativa económica y respetuosa con el ambiente para reducir el empleo de fertilizantes sintéticos y mejorar la calidad de los cultivos. Contienen microorganismos capaces de aumentar la disponibilidad de los nutrientes a través de diversos procesos biológicos (Beenish *et al.*, 2019).

Los fertilizantes orgánicos son productos naturales derivados de fuentes orgánicas como desechos animales, compost vegetal, subproductos agrícolas, excrementos humanos, etc. Estos son en realidad productos naturales que se descomponen y se mezclan con el suelo, proporcionando nutrientes para las plantas y aumentando la fertilidad del suelo (Brar *et al.*, 2019).

La fauna del suelo participa en la degradación de la materia orgánica, aireación y circulación de nutrientes, en particular en la mineralización de fósforo y nitrógeno, contribuyen a la formación de la microestructura del suelo con sus aportes de deyecciones, secreciones y sus propios restos (Socarrás, 2013). Cuando los diferentes organismos del suelo interactúan entre sí y con la flora y fauna del ecosistema, forman una red compleja de actividad ecológica conocida como red trófica del suelo (FAO, 2015).

Los consorcios microbianos son el componente funcional más importante de los organismos del suelo porque juegan un papel esencial en el flujo de energía, la conversión de nutrientes y el ciclo de elementos (Murillo-Cuevas *et al.*, 2019). Las bacterias tienen la capacidad de interactuar con las plantas y mejorar su salud y crecimiento. Solo se ha aislado alrededor del 1% de la diversidad bacteriana, y la

mayor parte puede ser de utilidad para la agricultura, la biotecnología, la biomedicina, la biorremediación y otros intereses (Morales-García *et al.*, 2019).

2.9. Beneficios de la fertilización orgánica

Los beneficios de utilizar fertilizantes orgánicos son enormes ya que se ha demostrado que, además de aportar materia orgánica húmeda y nutrientes al suelo, pueden prevenir, controlar y exacerbar el ataque de patógenos en el suelo. (Morón y Alayón, 2014). Los fertilizantes orgánicos han sido considerados por muchos autores como un factor de producción para minimizar el desgaste del suelo efecto del uso productivo de la tierra (Gómez y Vásquez, 2011).

El compostaje y el vermicompostaje son dos procesos ampliamente utilizados para la obtención de materia orgánica renovable, utilizados para mejorar la condición de tierras de cultivo degradadas, también son fuentes muy útiles para la extracción de sustancias húmicas solubles (Guridi-Izquierdo *et al.*, 2017). De acuerdo a su solubilidad en medios acuosos, se pueden subdividir en ácidos fúlvicos, soluble a todos los valores de pH; huminas insolubles y en ácidos húmicos (Nieto-Velázquez *et al.*, 2011).

Estas sustancias inciden en el aumento de la microbiota del suelo, tienen efectos fitohormonales, aumentan la disponibilidad de iones esenciales en suelos salinos, alteran las propiedades físicas y químicas del suelo y movilizan compuestos orgánicos no iónicos como pesticidas y contaminantes, suprimiéndolo de la solución acuosa (Reyes *et al.*, 2017).

2.10. Efecto de los fertilizantes orgánicos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

Los fertilizantes orgánicos tienen un efecto positivo en la fertilidad, la estructura, la aireación, la porosidad, la estabilidad de los agregados, la permeabilidad, la conductividad y la retención de agua en el suelo (Murray *et al.*, 2011).

2.10.1. Efectos físicos

Los fertilizantes orgánicos aumentan la capacidad de retención de agua del suelo; La materia orgánica, gracias a su alta porosidad, puede retener una cantidad de agua 20 veces su masa (Murray *et al.*, 2011). Mejora la estructura del suelo, haciéndolo más resistente a la erosión, al mismo tiempo que tiene una mejor permeabilidad, aireación y la capacidad de almacenar y proporcionar agua a las plantas. Oscurece el suelo al aumentar la temperatura y las reacciones bioquímicas que en él tienen lugar (Ansorena y Merino, 2014).

2.10.2. Efectos químicos

La materia orgánica aporta macronutrientes N, P, K y oligoelementos, y mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Esta propiedad absorbe los nutrientes catiónicos del suelo, ayudándolos a abastecer a las plantas más tarde, evitando la lixiviación. A su vez, los compuestos húmicos presentes en la materia orgánica forman complejos y quelatos permanentes, aumentando su absorción por las plantas.

2.10.3. Efectos biológicos

Desde un punto de vista biológico, se considera que los microorganismos tienen una gran influencia en las propiedades del suelo, además de afectar directamente el crecimiento de las plantas. Al existir incremento en la actividad biológica, hay una mejora notable en la estructura del suelo, debido al efecto aglomerante de los productos de la descomposición sobre las partículas del suelo. A medida que aumenta la fertilidad del suelo, también lo hace su capacidad para sustentar cultivos productivos (Mosquera, 2010).

2.11. Compost

Se puede pensar en el compost como una agrupación de residuos orgánicos que, al fermentarse, producen un producto rico en humus e inodoro, involucra una serie de procesos metabólicos complejos procedentes de la actividad conjunta de un grupo de microorganismos, transformando la materia orgánica en nutrientes asimilables, creando un producto más conveniente de usar y manejar (López, 2010).

El uso de compost orgánico no solo ayuda a equilibrar el suministro de nutrientes, sino que también reduce el costo del cultivo (Sharma *et al.*, 2017), Los agricultores pueden producir y utilizar compost utilizando restos vegetales obtenidos de su propiedad o de la región circundante (Antunes *et al.*, 2016). El uso de diferentes tipos de residuos sólidos a través del compostaje es fundamental para lograr la sostenibilidad ambiental y restaurar la calidad del suelo (Goswami *et al.*, 2017).

Por otro lado, Los residuos sólidos urbanos resultantes de actividades humanas continuas. deben ser recolectados o tratados por carecer de valor económico, por razones sanitarias, para evitar ocupar espacio y por razones

estéticas. Su generación y acumulación continua es uno de los principales desafíos para la sostenibilidad de los asentamientos humanos, principalmente por el aumento de la población urbana (García-Ramos *et al.*, 2019).

En este contexto, el compostaje podría ser una solución atractiva para el tratamiento y eliminación de los desechos y aprovecharlos como fertilizantes en la agricultura. Estos procedimientos eliminan los microorganismos potencialmente dañinos de estos residuos orgánicos (Castellanos *et al.*, 2017).

2.12. Proceso de compostaje

El compostaje es una tecnología utilizada para descomponer residuos orgánicos (Rivas y Silva, 2020), dando como resultado un fertilizante orgánico de origen biológico que estimula el crecimiento de las plantas y aumenta la fertilidad del suelo (Peralta *et al.*, 2019). El compostaje es un proceso biológico que ocurre bajo condiciones aeróbicas con un adecuado contenido de humedad y temperatura. Durante el proceso, los microorganismos llevan a cabo complejos procesos metabólicos para generar su propia biomasa en presencia de oxígeno, nitrógeno y carbono (Meena *et al.*, 2021).

El proceso se divide en cuatro etapas dependiendo de la dinámica de temperatura: mesófila (hasta 40 °C), termófila (hasta 60 °C), enfriamiento (hasta 49 °C) y maduración (hasta una diferencia no más de 10 °C. La etapa mesófila del compostaje la llevan a cabo bacterias y hongos mesófilos, que son reemplazados por organismos termófilos cuando aumenta la temperatura (Nozhevnikova *et al.*, 2019).

Las bacterias termófilas moderadas de la familia Lactobacillus están activas al comienzo del proceso de calentamiento del compost y después del aislamiento

repetido del material del compost al comienzo de la fase de enfriamiento. En la etapa de alta temperatura del compostaje, varios bacilos de la familia *Bacillus* pueden representar más del 80 % del número total de bacterias. Los representantes del género *Thermus* crecen a temperaturas de 65-82 °C y participan en la descomposición de varias macromoléculas (Nozhevnikova *et al.*, 2019).

2.13. Factores que influyen en el proceso de compostaje

La efectividad del proceso de compostaje depende de las condiciones ambientales presentes dentro del sistema de compostaje, oxígeno, temperatura, humedad, perturbación del material, materia orgánica y tamaño y actividad de las poblaciones microbianas. los elementos esenciales que requieren los microorganismos participantes son, carbono; nitrógeno; oxígeno y humedad (FAO, 2020).

2.13.1. Oxígeno

La demanda de oxígeno es uno de los factores más importantes que afectan la eficiencia del proceso de compostaje (Lin *et al.*, 2019), ya que se trata de un proceso aeróbico. La falta de oxígeno da lugar a condiciones anaeróbicas. En consecuencia, se forman compuestos putrescibles que generan olores desagradables (Epstein, 2019)

2.13.2. Temperatura

La temperatura es un indicador de la actividad microbiana, a medida que aumenta la temperatura, los conjuntos microbianos son reemplazados por otros mejor adaptados. Entre las etapas, la etapa termofílica es la más importante, ya que

en esta etapa una alta temperatura promueve la reproducción de bacterias y hongos que se encuentran en estado latente de los desechos, viven a temperaturas de 45 ° C a 75 ° C (Ballesteros *et al.*, 2017).

2.13.3. Humedad

La humedad durante el proceso de compostaje puede afectar la actividad microbiana y, por lo tanto, la temperatura y la velocidad de descomposición. Además, la humedad puede afectar la composición de la población microbiana. La humedad es generada por la actividad microbiana y la oxidación biológica de la materia orgánica. Además, el agua se pierde por evaporación (Epstein, 2019)

2.14. Vermicompost

El vermicompost es el producto resultante del proceso de oxidación biológica y estabilización de los sustratos orgánicos mediante la acción descomponedora combinada de lombrices y microorganismos convirtiéndolo en un material que presenta condiciones físicas óptimas, un contenido variable de materia orgánica parcialmente humificada, con contenido variable de nutrientes y reguladores de crecimiento, y puede almacenarse sin procesar o realizar cambios posteriores (Sánchez, 2018).

2.15. Proceso de obtención del vermicompost

El vermicompostaje es un tratamiento biológico, para el procesamiento de desechos orgánicos, que ofrece una práctica alternativa al compostaje (Sharma *et al.*, 2018), implica principalmente la actividad de biodegradación de las lombrices de tierra para mantener el flujo de nutrientes de un sistema a otro (Gupta *et al.*, 2019).

Obteniendo un abono orgánico rico en nutrientes, microbiológicamente activo, que además contiene hormonas reguladoras del crecimiento que estimulan el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Ravindran *et al.*, 2019).

Las lombrices acumulan los desechos orgánicos y los fijan en una sustancia rica en nutrientes, similar al humus, llamada vermicompost, en la que la lombriz es física y bioquímicamente activa. Las actividades físicas incluyen la aireación, mezcla y trituración de los desechos orgánicos, mientras que los microorganismos son los responsables de la biodegradación y estabilidad. Las interacciones hormonales de las lombrices convierten la materia orgánica insoluble en una forma soluble (Villegas-Cornelio y Laines, 2017).

La producción de vermicompost se puede realizar en tres etapas básicas: precompostaje o acondicionamiento, vermicompostaje y maduración (Nogales *et al.*, 2014).

2.15.1. Precompostaje o acondicionamiento

Esta fase incluye la recogida de diferentes residuos orgánicos y la separación de los mismos de materiales no deseados como vidrio, piedras, etc. (Mishra y Samal, 2021), adicionalmente se preparan los desechos orgánicos a medida que sean adecuados para las lombrices, este proceso es opcional, dado que algunos desechos orgánicos pueden ser digeridos por las lombrices sin preparación previa, pero en el caso de los desechos urbanos con microorganismos potencialmente dañinos para los humanos, este procedimiento es necesario (Nogales *et al.*, 2014).

2.15.2. Vermicompostaje

Este proceso también se conoce como la etapa de hidrólisis, en la que las lombrices descomponen y preparan el sustrato para la actividad microbiana, alterando así las propiedades físicas, químicas y biológicas de los desechos. El proceso conduce a la redistribución vertical y horizontal de la materia orgánica en el suelo (Gauque, 2017).

Esta redistribución depende del grupo ecológico de las lombrices, las cuales se dividen en tres grupos según su ubicación en el suelo, y sus hábitos de alimentación y excavación: lombrices epigeas asociadas con la acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo; endógeas que migran en el suelo para alimentarse de la materia orgánica; Mientras las anécicas toman los restos orgánicos de la superficie de la tierra y los arrastran a las galerías (Villegas-Cornelio y Laines, 2017).

2.15.3. Maduración

Durante esta etapa, las lombrices se trasladan a un nuevo sustrato mientras los microorganismos se encargan de descomponer polímeros complejos como la lignina (Gauque, 2017). Para la separación de las lombrices se utilizan dos métodos. Uno es el método de la pirámide, disponiendo el vermicompost en forma de pirámide para que las lombrices salgan arrastrándose debido a la exposición a la luz solar. El segundo método es el método de recogida manual, empleando un procedimiento de clasificación manual (Mishra y Samal, 2021).

2.16. Papel de las lombrices en el proceso de vermicompostaje

Charles Darwin describió a las lombrices de tierra como los 'soldados no anunciados de la humanidad', y Aristóteles las llamó el 'intestino de la tierra', ya que podían digerir una amplia variedad de materiales orgánicos (Gupta *et al.*, 2019). El crecimiento de las lombrices de tierra y la descomposición completa de la materia orgánica se representa por los altos niveles de ácido húmico presentes en el vermicompost, lo que indica "actividad inductora de hormonas" (Kumar *et al.*, 2020)

La ingestión de desechos orgánicos en el intestino de las lombrices de tierra incluye la microflora presente que es expulsada a manera de residuos (Kumar *et al.*, 2020). El mecanismo de acción de la digestión y formación de vermicompost por lombrices de tierra ocurre en muchos pasos. La materia orgánica pasa a través de la molleja de la lombriz donde se muele hasta convertirla en un polvo fino (Gupta *et al.*, 2019).

Muchas enzimas exógenas y endógenas están disponibles en el intestino de las lombrices de tierra para la conversión de minerales orgánicos en formas intercambiables para el crecimiento de las plantas y el desarrollo estructural del suelo (Kumar *et al.*, 2020). Enzimas hidrolíticas como la celulasa, la amilasa, la lipasa, la proteasa, la ureasa y la quitinasa, los microorganismos y otras sustancias fermentadoras ayudan aún más en su descomposición dentro del intestino (Gupta *et al.*, 2019).

2.17. Propiedades fisicoquímicas del vermicompost

La norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008, determina ciertos valores fisicoquímicos, para ser considerada como un vermicompost de calidad, es necesario monitorear parámetros como la temperatura, humedad, pH, materia orgánica, nitrógeno y relación C/N (Cuadro 3).

Cuadro 3 Parámetros de calidad del vermicompost

Parámetro	Valor
Nitrógeno total	1 – 4%
Materia orgánica	20 - 50%
Relación C/N	≤ 20
Humedad	20 - 40%
pH	5.5 – 8.5
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS/m ⁻¹
Capacidad de intercambio catiónico	> 40 cmol / kg ⁻¹
Peso volumétrico	0.40 – 0.90 g / mL ⁻¹

Fuente: NMX-FF-109-SCFI-2008

2.17.1. pH

Durante el proceso de vermicompostaje, la lombriz *Eisenia fetida* requiere de un pH de entre 6.5 y 7.5 en condiciones de poca luz (Román *et al.*, 2013). Aunque las lombrices de tierra pueden tolerar un rango de pH de 5 a 9, prosperan y se reproducen mejor en un pH casi neutro (Nogales *et al.* 2014). Por otra parte, se ha observado que un ligero aumento de la acidez puede ser neutralizado por las lombrices mediante la excreción de calcio y amonio. (López y Sainz, 2011).

Otros organismos activos en el vermicompost son los hongos, que pueden permanecer activos a un pH bajo, alrededor de 4. Además, algunas bacterias toleran un pH más alto que el neutro y algunas viven en un pH tan bajo como 2. Sin embargo, el rango de pH recomendado para el compost es de 6,5 a 7,5 (Rostami, 2011).

Algunos estudios han demostrado que las lombrices pueden crecer a un pH más alto o más bajo, pero el pH recomendado para el vermicompost es de alrededor de 6-7. A un pH más bajo, la actividad bacteriana disminuye y las lombrices a las que no les gusta, si es posible, escapan a un lugar con mejores condiciones o la mayoría morirá (Rostami, 2011).

2.17.2. Conductividad eléctrica

Una conductividad eléctrica (ce) mayor a 8 dS/m en los desechos orgánicos, es letal para las lombrices (Nogales *et al.*, 2014), debido a las lombrices tienen poca capacidad para regular las sales en su organismo, por lo que no pueden vivir en ambientes salinos (Luna-Canchari *et al.*, 2020)

2.17.3. Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento muy abundante en la materia viva y en la atmósfera. Sin embargo, las plantas solo pueden absorberlo en forma de amoníaco y/o nitrato, por lo que debe mineralizarse para cambiar de forma orgánica a inorgánica para que las plantas lo absorban. El 90% del nitrógeno en el suelo es orgánico, el resto está en forma de amoníaco y solamente una pequeña cantidad está en forma de nitratos. (Casas, 2015).

2.17.4. Relación Carbono/Nitrógeno

A medida que las lombrices procesan la materia orgánica, modifican las fuentes de C, N y mediante la relación C/N informa sobre la calidad del producto obtenido (Del Águila *et al.*, 2011). La acción combinada de lombrices y microorganismos puede ser responsable de la pérdida de carbono orgánico de los residuos orgánicos en forma de CO₂. Las lombrices y los microorganismos usan una gran parte del carbono como fuente de energía y nitrógeno para construir la estructura celular (Gupta y Grag, 2017).

2.17.5. Materia orgánica

La materia orgánica es la acumulación de residuos vegetales y animales, estando constituida por compuestos como carbohidratos, ligninas y proteínas formando un sistema complejo y heterogéneo. Al ser atacado por microorganismos del suelo se encuentra en un estado activo de descomposición, por lo que se renueva constantemente. Los solutos liberados durante la descomposición de la materia orgánica, como azúcares, fenoles, aminoácidos, pueden ser utilizados como nutrientes para los organismos heterótrofos del suelo o formar parte de las sustancias húmicas formadas (Gutiérrez, 2015). Durante el proceso de vermicompostaje, parte de la materia orgánica presente en los residuos se mineraliza, por lo que el contenido total de carbono orgánico se reduce significativamente (Gómez-Brandón *et al.*, 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en la ciudad de Torreón Coahuila. Con ubicación geográfica de 25° 32' N, 103° 14' O, a una altitud de 1120 msnm,

3.2. Condiciones climáticas

El clima de la región de la Comarca Lagunera, de acuerdo con Köppen y Geiger se clasifica como BWh. La temperatura media anual en Torreón se encuentra a 22.3 °C. Precipitaciones aquí promedios 225 mm., en donde el tipo BWw es considerado como desértico o muy árido con lluvias moderadas en verano (CONABIO, 2021)



Figura 1 Distribución de climas en la región Noreste de México

Fuente: Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (CONABIO).

3.3. Condiciones de campo

El experimento se realizó en campo, durante la temporada primavera-verano. La densidad de plantación fue de 10 plantas por tratamiento y repetición, con una distancia de plantación de 30 cm entre plantas y 50 cm entre surcos a doble hileras.

3.4. Material vegetal

El material vegetal utilizado en el experimento fue plántula de chile jalapeño variedad Mitla, adquirida de productores regionales ubicados en el poblado de León Guzmán municipio de Lerdo Durango.

3.5. Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue bloques al azar, con cinco tratamientos con cuatro repeticiones por tratamiento y un testigo.

Cuadro 4 Tratamientos para evaluar el desarrollo del chile jalapeño

Tratamiento	Material
	Testigo
T1	Vermicompost (VC)
T2	Compost (Com)
T3	Sintético (S)
T4	Sintético + Vermicompost (Vc-S)
T5	Sintético +Compost (Com-S)

3.6. Preparación del terreno

3.6.1. Barbecho y rastreo

El 10 de marzo de 2021, se efectuó el barbecho con tractor para una buena aireación, retención de agua, eliminación de todas las malezas, mejor desarrollo radicular, así como incorporar los residuos de cosechas anteriores.

El 11 de marzo de 2021, luego de realizado el barbecho, se llevó a cabo un rastreo con tractor para el rompimiento los terrones que quedaron después del barbecho y facilitar el crecimiento y desarrollo de las plantas.

3.6.2. Trazo de surcos

El 17 de marzo de 2021 se realizó el surcado con una distancia entre surcos de 50 cm y 30 m de largo, esto se hizo con una bordeadora.

3.7. Establecimiento en campo

El trasplante se efectuó de forma manual el 26 de abril, empleando plántulas producidas en charola, con un distanciamiento de 0.30 m entre planta y planta con 50 cm entre hileras en ancho de cama 1.6 m. 24 de abril antes de realizar el trasplante se aplicó el primer riego al suelo.

3.8. Desmalezado

El desmalezado se efectuó a mano durante todo el ciclo, lo cual es de suma importancia, ya que las malas hierbas sirven de hospedante para algunas plagas.

3.9. Riego

Para el riego se empleó agua de pozo profundo, utilizando el sistema de riego por gravedad, al principio, se realizaron las aplicaciones de agua dos veces por semana hasta alcanzar una altura de planta de 25 cm y posterior se realizó una aplicación por semana.

3.10. Presencia de plagas y enfermedades

Durante el desarrollo del cultivo se encontró principalmente mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*), las cuales fueron controladas con aplicaciones semanales de Imidacloprid y Lambda cyhalotrina con una dosis de 5 ml por litro.

3.11. Cosecha

El primer corte se realizó a los 46 días después del trasplante, y posteriormente se realizaron seis cortes de manera semanal dando un total de siete cortes. En el cual se emplearon criterios como el color brillante, tamaño y la firmeza del fruto para determinar su madurez.

3.12. Variables evaluadas

3.12.1. Longitud del fruto

Para analizar esta variable se midió el fruto desde la base del pedúnculo del fruto hasta el punto distal del fruto, se utilizó el valor medio de cinco frutos por tratamiento y se expresó en centímetros.

3.12.2. Diámetro del fruto

En cuanto al diámetro ecuatorial del fruto, se midió con un vernier en la parte central del fruto y se dio el valor promedio en centímetros de cinco frutos para cada tratamiento

3.12.3. Peso del fruto

Los pesos de los seis frutos se registraron mediante una escala numérica y cada tratamiento se expresó en gramos.

3.12.4. Número de lóculos

Para evaluar esta variable, se cortó el fruto a la mitad, de ahí se procedió a registrar el número de lóculos por fruto, se utilizó el promedio de cinco frutos por tratamiento.

3.12.5. Espesor de la pulpa

Para medir el grosor de la pulpa, el fruto se cortó de manera transversal y se empleó un calibrador vernier para su medición y se promedió en centímetros, para cinco frutos por tratamiento.

3.12.6. Pungencia

Se determinó el grado de picor o pungencia de cinco frutos por tratamiento y se expresó en escala numérica del uno al cinco.

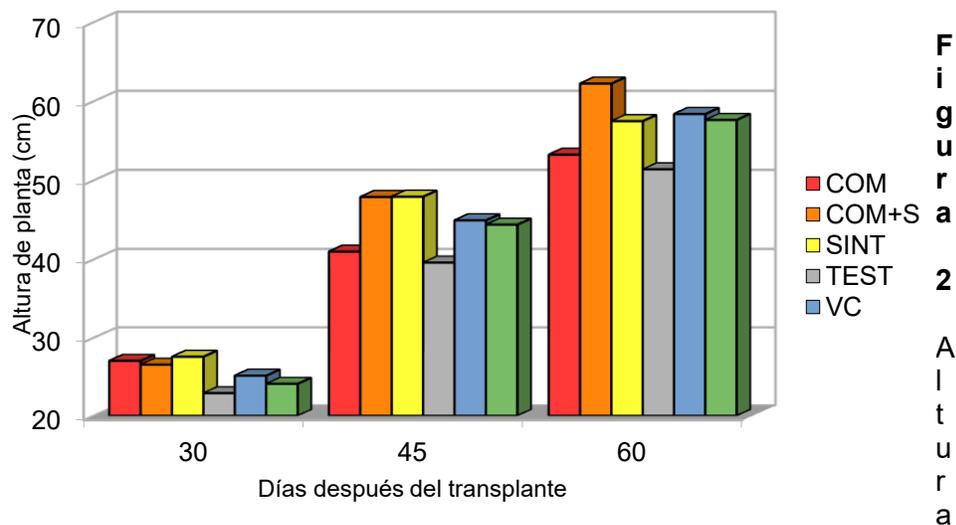
3.13. Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables evaluadas se realizó por medio del método de ANOVA, utilizando el paquete de software estadístico Statistical Analysis System (SAS). Como método de comparación de diferencia de medias se empleó el procedimiento de Diferencia Mínima Significativa (DMS) de Fisher al $P > 0.5$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de la planta

Para la variable altura de planta se tomaron tres mediciones a los 30, 45 y 60 días después del trasplante. A los 30 días después del trasplante, el tratamiento sintético presentó mayor altura, y el tratamiento de menor altura lo presentó el testigo. A los 45 días el compost más tratamiento sintético igualó en altura al tratamiento sintético, sin embargo, a los 60 días el compost más tratamiento sintético superó a la fertilización sintética con 62.25 cm, siendo en las tres tomas de altura el testigo quien presenta la menor altura (Figura 2).



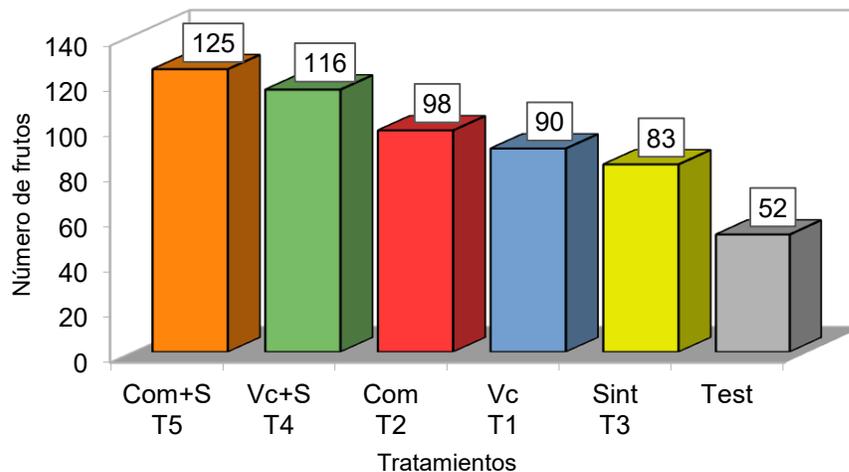
de plantas de chile a los 30, 45 y 60 días después del trasplante

Estos resultados fueron inferiores a lo reportado por Marcia y Portillo (2009) quienes evaluando híbridos de chile jalapeño reportaron para el híbrido Mitla una altura promedio de 59.49 cm. Mientras, Macías *et al.* (2012) reportan, para chile jalapeño fertilizado con gallinaza y estiércol bobino, resultados para la variable altura que oscilan entre 58.4 y 43.8, resultados inferiores a lo obtenido en el presente

experimento. Y también superaron a lo obtenido por López *et al.* (2012) para chile habanero (*C. chinense*) producido con abonos orgánicos con una altura de 52 cm.

4.2. Número de frutos

Para la variable número de frutos por tratamientos presentó diferencia altamente significativa al ($P > 0.01$), con una media de 97 frutos y un coeficiente de variación de 11.5 %. El tratamiento compost más sintético, mostró mayor valor con 125 frutos por planta, tuvo un incremento porcentual de 33.6 % más frutos que la fertilización sintética y 41.7 % más frutos, en comparación al testigo, quien presentó menor cantidad de frutos con 52 frutos por planta (Figura 3).



de frutos de chile jalapeño con la aplicación de diferentes fertilizantes

Estos resultados superaron a lo reportado por Juárez (2016) en chile jalapeño tratado con auxinas y citocininas, quien reportó un máximo de 79.3 frutos. Mientras que estos resultados fueron inferiores a lo reportado por Terleira (2019) en chile Tabasco (*C. frutencens*) con una media de 128 frutos. Los resultados de este trabajo

de investigación para la variable número de frutos concuerdan con los de Espinosa-Palomeque *et al.* (2020), para chile jalapeño, al demostrar que diferencias entre tratamientos fueron altamente significativas.

4.3. Rendimiento

El ANOVA presentó diferencias altamente significativas ($P > 0.01$) en rendimiento, mostrando un coeficiente de variación de 42.9 % y una media de producción de 52.8 t/ha (Cuadro 5). En la comparación de medias, se observa los tratamientos vermicompost más sintético, compost más sintético y compost fueron estadísticamente similares y superiores al resto de los tratamientos. La mayor producción lo muestra el tratamiento de vermicompost más sintético con 73.9 t/ha. Y la menor producción la muestra el testigo con 18.6 t/ha. tuvo un incremento porcentual de 47.8 % más producción que la fertilización sintética y 74.8 % más rendimiento, que el testigo (Figura 4)

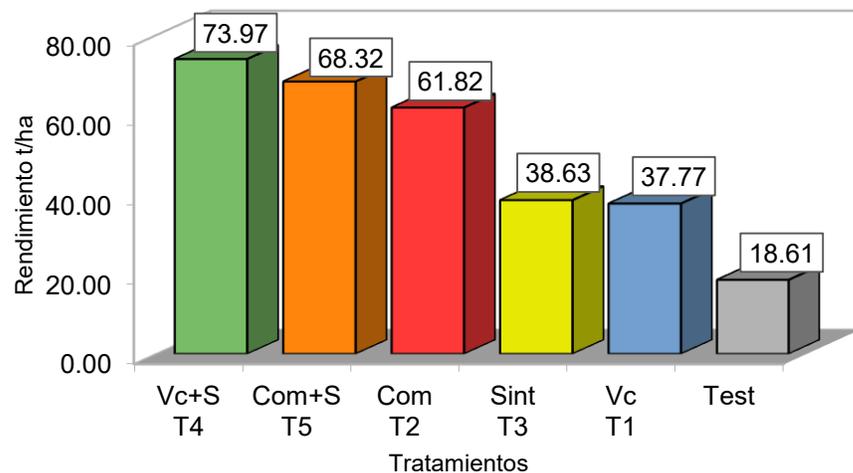


Figura 4
Rendimiento de chile jalapeño con la aplicación de diferentes fertilizantes

Est

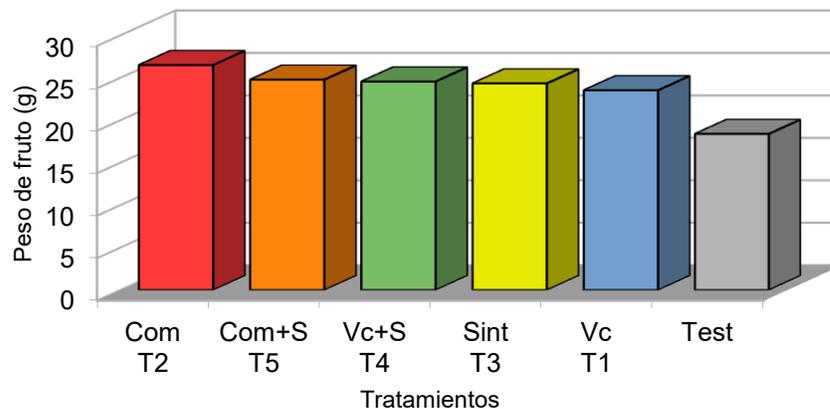
os resultados fueron inferiores a lo reportado por Marcia y Portillo (2009) quienes evaluando híbridos de chile jalapeño reportaron rendimientos de 69 a 103 t/ha.

Mientras que estos resultados superaron a lo reportado por Macías *et al* (2012) evaluando chile jalapeño abonado con 36 t/ha de estiércol y con aplicación de gallinaza más sintético reportan 65.2 t/ha. Y también superaron a lo obtenido por Maraña *et al* (2018) evaluando chile jalapeño con lixiviado de lombriz, reporto su máximo rendimiento 54.5 t/ha con lixiviado de vermicompost y con la fertilización sintética 36.1 t/ha.

4.4. Calidad de fruto

4.4.1. Peso de fruto

Para la variable Peso de fruto, el análisis de varianza, arrojó una diferencia estadística altamente significativa al ($P > 0.01$), el peso promedio de frutos fue de 24 g y un coeficiente de variación de 11.5 %. La fertilización con compost fue superior al testigo, con 26.5 g (Figura 5).



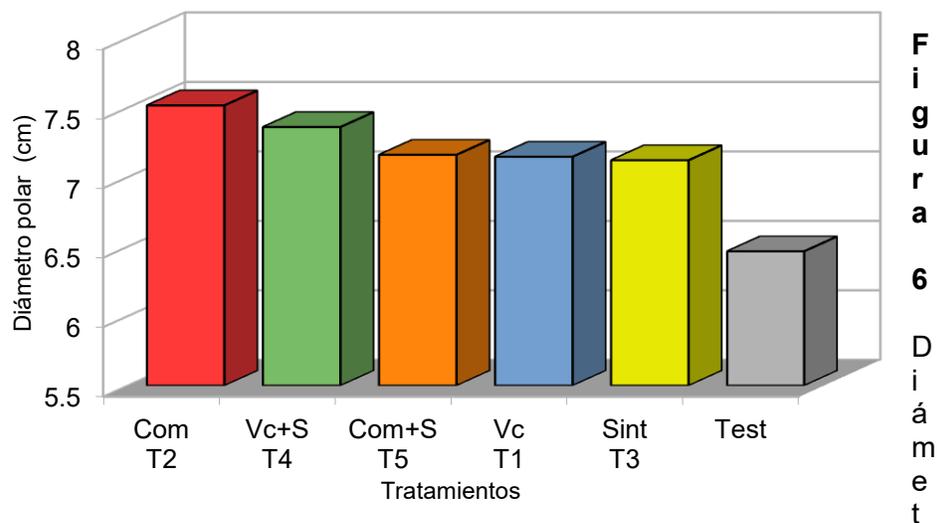
d
e frutos de jalapeño con la aplicación de diferentes fertilizantes

Estos resultados superaron a lo reportado por a lo reportado por Marcia y Portillo (2009) quienes evaluando siete híbridos de chile jalapeño encontraron un

peso de fruto de 21.7 g. Y superaron a lo reportado por Molina (2018) quien reporto en chile jalapeño cultivado con abonos orgánicos un peso de fruto de 13.2 g. En tanto, Espinosa-Palomeque *et al.* (2020) reportan, para chile jalapeño, que el peso promedio de frutos del tratamiento orgánico fue mayor que el del testigo en un 54.02 % con un peso de 22.02 g.

4.4.2. Diámetro polar

En cuanto al diámetro polar del fruto, el análisis estadístico presentó diferencia significativa al ($P > 0.01$) entre los tratamientos, con valores de media superiores en los tratamientos compost con 7.5 cm y vermicompost más sintético con 7.4 cm. mientras que el tratamiento testigo muestra el menor valor con 6.5 cm como se muestra en la figura 6, con una media general de 7.12 cm y un coeficiente de variación de 6.7 % (Cuadro 5).



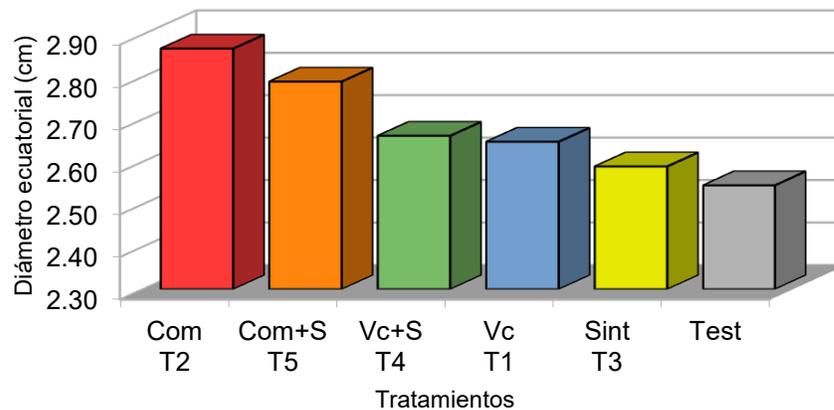
ro polar de frutos de chile jalapeño con la aplicación de diferentes fertilizantes

Estos resultados superaron a lo reportado por Macías *et al.* (2012) evaluando chile jalapeño con aplicación de gallinaza más sintético reportan una media de 5.2 cm. Y siendo similares a lo reportado por Morón y Alayón (2014) en el manejo de

chile jalapeño con manejo orgánico reporta una media de 7.25 cm. Mientras que estos resultados fueron ligeramente inferiores a lo reportado por Moreno *et al.* (2014) en chile húngaro abonado con vermicompost un largo de fruto con una media de 7.9 cm.

4.4.3. Diámetro ecuatorial

En cuanto al diámetro ecuatorial de fruto, el análisis de varianza refleja una diferencia estadística altamente significativa ($P > 0.01$), con una media general de 2.68 cm y coeficiente de variación de 6.36 % (Cuadro 5). Los tratamientos con compost presentaron los mayores diámetros y superaron con 9.8 % a la fertilización con sintético y se encontraron valores entre 2.87 y 2.54 cm (Figura 7)



F i g u r a 7 D i á m e t

ro ecuatorial de frutos de chile jalapeño con la aplicación de diferentes fertilizantes

Valores similares a lo reportado por Espinosa-Palomeque *et al.* (2020) con un promedio de 2.82 cm y un coeficiente de variación de 9.19 %. Y siendo superiores a lo reportado por Molina (2018) en chile jalapeño cultivado con abonos orgánicos con

un valor promedio de 2.1 cm y un coeficiente de variación de 10.2 %. Mientras que estos resultados superaron a lo reportado por Macías *et al* (2012) evaluando chile jalapeño abonado con estiércol y con aplicación de gallinaza más sintético con una media de 2.3 cm.

4.4.4. Número de lóculos

El análisis estadístico no detectó diferencia significativa en el número de lóculos, todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales. Presentando un promedio de 3 lóculos y un coeficiente de variación de 15.49% (Cuadro 5). Estos resultados concuerdan con Moreno *et al.* (2014) al reportar que la variable número de lóculos los tratamientos resultaron estadísticamente iguales con una media de 2 lóculos. Y similares a lo reportado por Molina (2018) Los frutos presentaron un promedio de 3 lóculos.

4.4.5. Espesor de pulpa

En la variable espesor de pulpa, la comparación de medias no reflejó diferencia significativa entre los tratamientos, con un promedio de 0.30 cm y un coeficiente de variación de 8.17%, sin embargo el tratamiento con compost mostró el mayor espesor de pulpa con 0.33 cm (Cuadro 5). En un trabajo realizado en 2014, Moreno *et al.* Se observó mayor espesor de pulpa en frutos de chile húngaro en los tratamientos en que se empleó vermicompost con promedios ampliamente superiores al testigo. Esto difiere de los resultados de este trabajo, ya que no se apreció una diferencia significativa entre tratamientos y el testigo.

4.4.6. Pungencia

Para la variable pungencia el análisis estadístico presentó diferencia altamente significativa al ($P > 0.01$). La concentración de picor registrado en el presente trabajo, osciló de 4.8 y 3.3 de pungencia, con un promedio de 4.11 y un coeficiente de variación de 12.82% (Cuadro 5). El tratamiento con mayor picor fue compost con 4.83 y supero al tratamiento sintético con 12.6 % y al testigo con 21 %. Resultados similares a lo reportado por Molina (2018) en la producción de chile jalapeño cultivado con abonos orgánicos, con un promedio de 3.7 de pungencia.

Cuadro 5: Parámetros de calidad de frutos de chile jalapeño

	PF (g)	DP (cm)	DE (cm)	NL	EP (cm)	PG
T1 (VC)	23.53b	7.15a	2.65abc	3	0.30	4.34ab
T2 (Com)	26.50a	7.52a	2.87a	3	0.33	4.83a
T3 (Sintetico)	24.33ab	7.12ab	2.59bc	3	0.30	4.22ab
T4 (Vc+S)	24.56ab	7.36a	2.66abc	3	0.32	3.89ab
T5 (Com+S)	24.78ab	7.16a	2.79ab	3	0.30	3.31ab
Testigo	18.39c	6.47b	2.54c	3	0.29	3.89b
Media	23.68	7.13	2.68	3	0.30	4.11
CV (%)	11.13	6.73	6.36	15.49	8.17	12.82

Los valores con una letra diferente en cada columna indican una diferencia significativa en $P < 0,05$ y altamente significativa en $P < 0.01$ según la prueba de DMS. PF=peso de fruto; DP=diámetro polar del fruto; De= diámetro ecuatorial del fruto; NL= número de lóculos; PG= pungencia; EP= espesor de pulpa; CV = coeficiente de variación.

V. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio al evaluar el rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con diferentes fuentes de fertilización, se llegó a las siguientes conclusiones.

Se acepta la hipótesis La fertilización orgánica, además de satisfacer las necesidades nutricionales del chiles jalapeños, aumentó el rendimiento y mejoró la calidad de fruto.

La aplicación de compost más fertilizante sintético ejerció un efecto positivo sobre la altura, calidad de fruto y el numero de frutos de chile jalapeño ya que se obtuvieron mejores resultados que las plantas testigo.

Se observaron efectos positivos de la aplicación de fertilizantes orgánicos en la producción de jalapeños, donde la aplicación de vermicompost resultó en el mejor rendimiento de frutos.

El uso de fertilizantes orgánicos en la producción de chile jalapeño representa una alternativa ecológica, económica y sustentable para los pequeños productores, al tiempo que permite obtener alimentos más frescos y saludables para consumir, aumentar la cantidad y calidad de los cultivos y restaura la materia orgánica del suelo.

VI. LITERATURA CONSULTADA

Adauto, R.; Borjas, R. Huanuqueño, H. Ladera, y Bello, S. Julca, a. (2014) Cultivo de ají jalapeño (*Capsicum annum L.*) cv. Mitla en la selva central del Perú Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

Aguirre Hernández, E., y Muñoz Ocotero, V. (2015). El CHILE como alimento. *Revista ciencia*, 66(3). <https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/index.php/vol-66-numero-3/603-el-chile-como-alimento>

Aguirre-Mancilla, C. L., G. Iturriaga de la Fuente, J. G. Ramírez-Pimentel, J. G. Covarrubias-Prieto, F. Chablé-Moreno y J. C. Raya-Pérez. (2017). El chile (*C. annum L.*), cultivo y producción de semilla. *Cienc. Technol. Agropec. Méx.* 5: 19-27.

Al-Khayri, J. M., Jain, M. S., y Johnson, D., V. (2021). *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops: Volume 9: Fruits and Young Shoots (English Edition)*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-66961-4>

Alvarez, F. y Pino, M.T. (2018). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento en Chile. *Boletín INIA N° 360*. Ministerio de agricultura, gobierno de Chile. Pp 41-58.

Anguiano, J. (2010). Comparación en la respuesta fisiológica en plantas de chile bajo el efecto de tres temperaturas nocturnas, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León, México. 136 p.

Ansorena, J., & Merino, E. B. D. (2014). Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos , enmiendas y abonos orgánicos. *Escuela Agraria Fraisoro*. 67p.

Antunes, L. F. D. S., Scoriza, R. N., Silva, D. G. D., y Correia, M. E. F. (2016). Production and efficiency of organic compost generated by millipede activity. *Ciência Rural*, 46(5), 815–819. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150714>

Ballesteros Trujillo, Marisol, Hernández Berriel, María del Consuelo, de la Rosa Gómez, Isaías, Mañón Salas, María del Consuelo, y Carreño de León, María del Carmen. (2018). Crecimiento microbiano en pilas de compostaje de residuos orgánicos y biosólidos después de la aireación. *Centro Azúcar*, 45(1), 1-10.

Beenish, O., Singh, R., y P Lal, E. (2019). Impact of nutrient management system on growth, yield and quality of Indian mustard (*Brassica juncea L.*) cv. Rani variety. *J Pharmacogn Phytochem*, 8(3):4391-4394.

Bosland, P. W., y Votava, E. J. (2012). *Peppers: Vegetable and Spice Capsicums: 22 (2nd Revised ed.)*. Cabi. <https://doi.org/10.1079/9781845938253.0000>

Brar, P. S., Kaushal, R., y Bhardwaj, G. (2019). A review on beneficial effects of PGPR and noble liquid manures in enhancing soil fertility and sustainability. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(04), 409–415. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.804.045>

CABI. (2021). *Capsicum annuum* (bell pepper). Recuperado 10 de enero de 2022, de <https://bit.ly/3x84awP>

Cabrera, R. G. y Tapuy, C. J. (2021) Evaluación de tres dosis de micorrizas en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) en el cantón la maná, tesis de licenciatura, universidad técnica de cotopaxi, la mana, ecuador. P 13.

Cardone, G., Bottalico, F., y Prebibaj, M. (2021). Assessment of the economic sustainability of an organic olive oil farm in Puglia region (Italy) under the voluntary regional quality scheme. *New Medit*, 20(1), 114. <https://doi.org/10.30682/nm2101h>

Casas H. I (2015) Vermiestabilización de lodo residual y estiércol equino, su efecto en el suelo bajo cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*), Tesis de maestría. México: Universidad Autónoma del Estado de México.

Castellanos, J. Z., Cano-Ríos, P., García-Carrillo, E. M., Olalde-Portugal, V., Preciado-Rangel, P., Ríos-Plaza, J. L., y García-Hernández, J. L. (2017). Hot Pepper (*Capsicum annuum*L.) Growth, Fruit Yield, and Quality Using Organic Sources of Nutrients. *Compost Science y Utilization*, 25(1), S70-S77. <https://doi.org/10.1080/1065657x.2017.1362673>

CONABIO. (2021). Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/clima/climas/clima1mgw

Del Águila J. P., Lugo De F. J. y Vaca P. R. (2011) Vermicomposting as a process to stabilize organic waste and sewage sludge as an application for soil, University Of The State Of Mexico, México: *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 949-963.

DeWitt, D., y Lamson, J. (2015). *Field Guide To Peppers*. Timber Press (OR). Pp 9, 179.

Díaz, A., Alvarado, M., Ortiz, F., y Grageda, J. (2013). Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15-19.

Dionizis, N., Potter, W., Sepúlveda, R. y Román, L. F. 2013. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Informativo INIA N° 82. Ministerio de agricultura, gobierno de Chile. Pp 3-4.

Durukan, H., Demirbaş, A., y Tutar, U. (2019). The Effects of Solid and Liquid Vermicompost Application on Yield and Nutrient Uptake of Tomato Plant. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i7.1069-1074.2579>

Epstein, E. (2017). *The Science of Composting* (English Edition). CRC Press.

Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., González-Rodríguez, G., Reyes-González, A., Ayala-Garay, A.V, y Preciado-Rangel, P. (2020). Vermicompost on the production and nutraceutical quality of jalapeño pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(4), 795-803. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.605>

FAO (2019). Producción mundial de chiles, pimientos picantes, pimientos (verdes) <http://www.fao.org/faostat/es/#home>.

FAO (2020). Compost from organic bio solids – Production, socioeconomics and impact on soil productivity. Food y Agriculture Org. <https://doi.org/10.4060/ca9916en>

FAO. (2015). Suelos y biodiversidad. Roma, Italia

García-Ramos, Clara, y Arozarena-Daza, Noel J., y Martínez-Rodríguez, Francisco, y Hernández-Guillén, Marcela, y Pascual-Amaro, José Ángel, y Santana-Gato, David (2019). Obtención de compost mediante la biotransformación de residuos de mercados agropecuarios. *Cultivos Tropicales*, 40(2),02.

González, M. I. 2012. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Nuevas Fichas Hortícolas. Boletín INIA N° 246. Ministerio de agricultura, gobierno de Chile. P 39.

Goswami, L., Nath, A., Sutradhar, S., Bhattacharya, S. S., Kalamdhad, A., Vellingiri, K., y Kim, K. H. (2017). Application of drum compost and vermicompost to improve soil health, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants. *Journal of Environmental Management*, 200, 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.073>

Guauque S. D. M. (2017) Comparación del proceso de vermicompostaje con la especie *Eisenia fetida* desde la variación de los residuos orgánicos, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.

Gupta, R. Swami, S. Rai, A. (2019). Impact of integrated application of vermicompost, farmyard manure and chemical fertilizers on okra (*Abelmoschus esculentus* L.) performance and soil biochemical properties. 1714-1718.

Gupta, R., y Garg, V. K. (2016). Vermitechnology of organic waste recycling. En A. Pandey, J. W. C. Wong, y R. D. Tyagi (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 83–112). Elsevier.

Guridi-Izquierdo, F, Calderín-García, A, Louro-Berbara, R., Martínez-Balmori, D, y Rosquete-Bassó, M. (2017). Los ácidos húmicos de vermicompost protegen a plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) contra un estrés hídrico posterior. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 53-60.

Hernández-Verdugo, Sergio, Porras, Flor, Pacheco-Olvera, Antonio, López-España, Ricardo Guillermo, Villarreal-Romero, Manuel, Parra-Terraza, Saúl, y Osuna Enciso, Tomás. (2012). Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*, (33), 175-191.

Hernández- Pérez, T., Gómez- García, M. del R., Valverde, M. E., y Paredes- López, O. (2020). *Capsicum annum* (hot pepper): An ancient Latin- American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12634>

Huang, P., Xu, J., y Kloepper, J. W. (2019). Plant-microbe-soil fertility interaction impacts performance of a *Bacillus* -containing bioproduct on bell pepper. *Journal of Basic Microbiology*. doi:10.1002/jobm.201900435

INIFAP. (2017). Agenda Técnica Agrícola. Estado de Chihuahua. México. Pp 55-64.

Inzunza-Ibarra, M. A., Villa-Castorena, M, Catalán-Valencia, E. A., y Román-López, Al. (2010). Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego.

Terra Latinoamericana, 28(3), 211-218. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000300003&lng=es&tlng=es.

Juárez, G. D. (2016). Efecto de auxinas y citocininas sobre el cuajado y desarrollo de fruto de chile jalapeño. Tesis de licenciatura. Universidad Rafael Landívar. Jutiapa. Guatemala

Korkutata, N.F y Kavaz, A (2015) Un estudio comparativo del contenido de ácido ascórbico y capsaicinoide en pimientos rojos picantes (*Capsicum annum* L.) cultivados en la región sureste de Anatolia, *International Journal of Food Properties*, 18:4, 725-734, DOI: 10.1080/10942912.2013.850507

Kumar, R., Sharma, P., Gupta, R. K., Kumar, S., Sharma, M. M. M., Singh, S., y Pradhan, G. (2020). Earthworms for Eco-friendly Resource Efficient Agriculture. *Resources Use Efficiency in Agriculture*, 47–84. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6953-1_2

Lin, L., Xu, F. X. Ge y Y. Li(2019). Biological treatment of organics materials for energy and nutrients production-Aerobic digestion and composting. X. Ge y Y. Li (Eds.), *Advances in Bioenergy: Volume 4* (Vol. 4, pp. 121–182). Academic Press.

López M. E. y Sainz O. J. (2011) Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola, España: Universidad de Santiago de Compostela.

López, M., Poot, J. E., y Mijangos, M. A. (2012). Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. *Revista Científica UDO Agrícola*. Vol. 12, N°. 2, págs. 307-312

López W, W. (2010). Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol. Tesis de maestría. Instituto Politecnico Nacional. Tlaxcala, México. Pp 22-24

Luna-Canchari, g., y Mendoza-Soto, N. (2020). Condiciones ambientales y microorganismos adecuados para la obtención de humus de calidad y su efecto en el suelo agrícola. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(1). Pp 45-53.

Macías, R. Contreras, R. y Robles, F. (2012). Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *BIOtecnia*. <https://doi.org/10.18633/bt.v14i3.127>.

Maji, D., Misra, P., Singh, S., y Kalra, A. (2017). Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. *Applied Soil Ecology*, 110, 97–108. doi:10.1016/j.apsoil.2016.10.008

Maraña, J. N., Castellanos, E., Vázquez, C., Martínez, J. J., Trejo, H. I., Gallegos, M. N., y Orona, I. (2018). Rendimiento de chile jalapeño con lixiviado de lombriz con dos métodos de riego. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(4), 345. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.253>

Marcia, J. R., y Portillo, O. R. (2010). Evaluación de siete híbridos de chile jalapeño (*Capsicum annum*). *FHIA. Programa De Hortalizas*, 107–119

Mazzetto, E. (2018). Ofrendas de chile verde (chilchotl) en el calendario mexicana. En Los chiles que le dan sabor al mundo (pp. 128–146). IRD Editions.

Meena, A. Karwal, M. Dutta, D. Mishra, R. (2021). Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13546.95689>

Mejia, Y. F. (2013). Aislamiento y Caracterización Fisicoquímica de la Capsaicina de Tres Variedades de Ají, Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Quito, Ecuador, 70 p

Mendoza, Paola. (2012). Producción y eficiencia en uso de agua en chile jalapeño, Tesis de Licenciatura. UAAAN, Torreón, Coahuila, México. Pp. 5,6

Mishra, C. S. K., y Samal, S. (2021). Rediscovering Earthworms. Cambridge University Press. Pp 65-70.

Molina, R. A., (2018), Producción de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) cultivado con abonos orgánicos en la comarca lagunera, Tesis de Licenciatura, UAAAN, Torreón, Coahuila, México, 45 p.

Morales García, Y. E., Baez, A., Quintero-Hernández, V., Molina-Romero, D., Rivera-Urbalejo, A. P., Pazos-Rojas, L. A., y Muñoz-Rojas, J. (2019). Bacterial Mixtures, the Future Generation of Inoculants for Sustainable Crop Production. In *Field Crops: Sustainable Management by PGPR*. Springer, Cham., 11-44.

Moreb, N., O'Dwyer, C., Jaiswal, S., y Jaiswal, A. K. (2020). Pepper. Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables, 223–238. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00013-1>

Moreno R, K. (2020). Chiles y salsas en México. Un sabor a identidad. INAH. Recuperado 25 de diciembre de 2021, de <https://bit.ly/3JfxB2B>

Moreno R., A; Rodríguez D., N; Reyes C., J.,L; Márquez Q., C; Reyes G., J; (2014). Comportamiento del chile húngaro (*Capsicum annum*) en mezclas de vermicompost-arena bajo condiciones protegidas, *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Tomo 46, N° 2, pp. 97-111.

Moreno, C. S. (2017). Extractos de algas marinas en el rendimiento y calidad de ají escabeche (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) bajo condiciones de Cañete, Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 64 p.

Morón, A. y Alayón, J.A (2014). Productividad del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) con manejo orgánico o convencional en Calakmul, Campeche, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(3),35-40

Mosquera, B. (2010). Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación sana. *Fonag*. P 24

Murillo-Cuevas, F. D., Adame-García, J., Cabrera-Mireles, H., y Fernández-Viveros, J. A. (2019). Fauna y microflora edáfica asociada a diferentes usos de suelo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 23–33. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1792>

Murray, R., Bojórquez, J., Hernández, A., Orozco, M., García, J., Gómez, R., ... Aguirre, J. (2011). Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Revista Biociencias*, 1(3). Pp 27-35. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.03.04>

Nieto-Velázquez, S., Pacheco-Hernández, L., Galán-Vidal, C.A., y Páez-Hernández, M.E. (2011). Estudio de las Interacciones Ácido Húmico-Metales Pesados y Determinación de sus Constantes de Estabilidad por Electroforesis Capilar. *Información Tecnológica*. Vol. 22(3). Pp 45-54.

NMX-FF-109-SCFI-2008, Humus de lombriz (lombricomposta) Especificaciones y métodos de prueba. Disponible en: <https://bit.ly/3LOuJLT>

Nogales R. V.-M., Romero T. E. y Fernandez G. M. J. (2014) De residuo a recurso, el camino hacia la sostenibilidad, España: Mundi-Prensa.

Nozhevnikova, A. H., Mironov, B. B., Bochkova, E. A., Litt, Y. V., y Russková, Y. L. (2019). Composición de la comunidad microbiana en las distintas etapas del compostaje, la perspectiva de obtención de compost a partir de residuos orgánicos municipales (revisión). *Bioquímica y microbiología aplicadas*, 55(3), 211–221. <https://doi.org/10.1134/s0555109919030103>

Peralta, A. N., Freitas, G. B., Watthier, M., y Silva, S. R. (2019). Compost, bokashi y microorganismos eficientes: Sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. *Idesia (Arica)*, 37(2), 59-66. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200059>

Pérez-Castañeda, Laura Maryela, Castañón-Nájera, Guillermo, Ramírez-Meraz, Moisés, y Mayek-Pérez, Netzahualcóyotl. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp.. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(4), 117-128.

Pérez, S. y Rivera, D. (2011). Análisis de la factibilidad técnica financiera para la extracción de antioxidantes y otros compuestos funcionales del chile jalapeño, cultivado en zona norte de el Salvador, y su comercialización en el mercado nacional y extranjero, Tesis de Licenciatura, Universidad Dr. José Matías Delgado, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, Pp.11

Ramos Agüero, David, y Terry Alfonso, Elein. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59.

Ravindran, B., Lee, S. R., Chang, S. W., Nguyen, D. D., Chung, W. J., Balasubramanian, B., Mupambwa, H. A., Arasu, M. V., Al- Dhab, N. A., y Sekaran, G. (2019). Positive effects of compost and vermicompost produced from tannery waste-animal fleshing on the growth and yield of commercial crop-tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plant. *Journal of Environmental Management*, 234, 154–158. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.100>

Reyes P, J. J., Abasolo P, F., Yépez R, N. J., Luna M, R. A., Zambrano B, D., Vázquez M, V. F., Cabrera B, D. A., Guzmán A, J. A., Torres R, J. A., y Rodríguez M, W. O. (2017). Ácidos húmicos y su efecto sobre variables morfológicas en plantas de zanahoria (*Daucus carota* L). *Biotecnia*, 19(2), 25–29. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v19i2.381>

Rivas, M. y Silva R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *CIENCIA UNEMI*, 13(32), 87-100. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss32.2020pp87-100p>

Román P., Martínez M. M. y Pantoja A. (2013) Manual de compostaje del agricultor, Chile: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO).

Rostami, R. (2011). Vermicomposting. En S. Kumar (Ed.), *Integrated Waste Management* (Vol. 2, pp. 131–142). IntechOpen.

Samuels, J. (2015). Biodiversity of Food Species of the Solanaceae Family: A Preliminary Taxonomic Inventory of Subfamily Solanoideae. *Resources*, 4(2), 277–322. doi:10.3390/resources4020277

Santos, T, Chagas AB, Santos JKB, Santos E y Barros RP (2018) Estudo do desenvolvimento fenológico de duas gerações do Pimentão All Big (*Capsicum annuum* L.) plantados em vasos. *Diversitas Journal*, 3:539-548. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v3i3.651>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2016. *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. <https://bit.ly/3yv8Snj>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. *Anuario estadístico de la producción agrícola del 1980-2018*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Sharma, A., Saha, T. N., Arora, A., Shah, R., y Nain, L. (2017). Efficient Microorganism Compost Benefits Plant Growth and Improves Soil Health in Calendula and Marigold. *Horticultural Plant Journal*, 3(2), 67–72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hpj.2017.07.003>

Sharma, K., y Garg, V. K. (2018). Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). *Bioresource Technology*, 250, 708–715. doi:10.1016/j.biortech.2017.11

Sierra, C. (2013). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). *Fertilización y Manejo del Suelo en Hortalizas: Alcachofa, Apio, Lechuga, Pepino Dulce, Pimiento, Tomate y Zanahoria*. Boletín INIA N° 271. Ministerio de agricultura, gobierno de Chile. P 73.

Socarrás, A. (2013). Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes*, 36(1), 5-13.

Solis, F. (2015). Rendimiento y calidad de ají jalapeño (*Capsicum annuum*) cv. Mitla empleando diferentes concentraciones de ácido salicílico, tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 70 p.

Taiwo, L. B., Oyedele, A. O., Ailenokhuoria, B. V., y Okareh, O. T. (2019). Plant-microbes relationships in soil ecological system and benefits accruable to food health. En L. K. Maheshwari y S. Dheeman (Eds.), *Field Crops: Sustainable Management by PGPR* (Vol. 23, pp. 177–190). Springer Publishing.

Terleira, E. (2019). Aprovechamiento de los residuos sólidos domésticos para la elaboración de abono orgánico aplicable en el cultivo del género *Capsicum frutescens*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional De San Martín – Tarapoto. Moyobamba. Perú

Vázquez, D. A., Salas-Pérez, L., González, J. A., Cruz, E., Sánchez, E., y Preciado, P. (2020). Commercial and nutraceutical quality of jalapeño pepper affected by salicylic acid levels. *Biblat*.

<https://biblat.unam.mx/es/revista/interciencia/articulo/commercial-and-nutraceutical-quality-of-jalapeno-pepper-affected-by-salicylic-acid-levels>

Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., y Nasrullah Boyce, A. (2016). Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability—A Review. *Molecules*, 21(5), 573. doi:10.3390/molecules21050573

Villavicencio, P, L., (2020). Evaluación del efecto de tres bioestimulantes orgánicos sobre el crecimiento y producción del cultivo de ají jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum*) en la zona de La Maná, provincia de Cotopaxi. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador, 54 p.

Villegas-Cornelio, V. M., y Laines, C, J. R. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 393–406. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.59>

Zhang, J., Yang, R., Chen, R., Li, Y. C., Peng, Y., y Wen, X. (2019). Geographical origin discrimination of pepper (*Capsicum annuum* L.) based on multi-elemental concentrations combined with chemometrics. *Food Science and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00619-3>

VII. ANEXOS

1. Anexo: Análisis de varianza para la variable altura (30 ddt)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	66.54208333	13.30841667	1.61	0.2182
Bloque	3	62.49458333	20.83152778	2.52	0.0977
Error	15	124.2029167	8.2801944		
Total	23	253.2395833			
C.V %	11.26				
Media	25.55				

2. Anexo: Análisis de varianza para la variable altura (45 ddt)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	238.4883333	47.6976667	2.84	0.0534
Bloque	3	47.7719333	15.9239778	0.95	0.4423
Error	15	251.9476667	16.7965111		
Total	23	538.2079333			
C.V %	9.25				
Media	44.30				

3. Anexo: Análisis de varianza para la variable altura (60 ddt)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	300.8683333	60.1736667	2.14	0.1167
Bloque	3	77.485	25.8283333	0.92	0.456
Error	15	422.145	28.143		
Total	23	800.4983333			
C.V %	9.35				
Media	56.74				

4. Anexo: Análisis de varianza para la variable número de fruto

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	42938.90947	8587.78189	9.98	<.0001
Bloque	1	30.57353	30.57353	0.04	0.851
Error	5	4953.72609	990.74522		
Total	11	47923.2091			
C.V %	30.16				
Media	97.25				

5. Anexo: Análisis de varianza para la variable rendimiento (t/ha)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	30223.61851	6044.7237	11.69	<.0001
Bloque	1	195.16846	195.16846	0.38	0.5409
Error	5	2083.21375	416.64275		
Total	11	32502.00072			
C.V %	42.99				
Media	52.89				

6. Anexo: Análisis de varianza para la variable peso de fruto

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	690.6276342	138.1255268	19.88	<.0001
Bloque	2	6.6012752	3.3006376	0.48	0.6234
Error	10	117.6102094	11.7610209		
Total	17	814.839119			
C.V %	11.13				
Media	23.68				

7. Anexo: Análisis de varianza para la variable diámetro polar

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	11.59616731	2.31923346	10.05	<.0001
Bloque	2	0.48037526	0.24018763	1.04	0.3575
Error	10	8.09926339	0.80992634		
Total	17	20.17580596			
C.V %	6.74				
Media	7.13				

8. Anexo: Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	1.34458891	0.26891778	9.22	<.0001
Bloque	2	0.29287545	0.14643773	5.02	0.0086
Error	10	1.01606479	0.10160648		
Total	17	2.65352915			
C.V %	6.37				
Media	2.68				

9. Anexo: Análisis de varianza para la variable número de lóculos

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	2.13566673	0.42713335	2.2	0.0608
Bloque	2	0.89107084	0.44553542	2.3	0.1063
Error	10	6.0247088	0.60247088		
Total	17	9.05144637			
C.V %	15.49				
Media	2.84				

10. Anexo: Análisis de varianza para la variable pungencia

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	26.47691803	5.29538361	19.03	<.0001
Bloque	2	7.39621103	3.69810551	13.29	<.0001
Error	10	21.02155274	2.10215527		
Total	17	54.8946818			
C.V %	12.83				
Media	4.11				

11. Anexo: Análisis de varianza para la variable espesor de pulpa

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tablas
Tratamientos	5	0.0251298	0.00502596	7.96	<.0001
Bloque	2	0.00704037	0.00352019	5.58	0.0052
Error	10	0.04565804	0.0045658		
Total	17	0.07782822			
C.V %	8.17				
Media	0.31				

