

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**MAESTRÍA EN AGRICULTURA PROTEGIDA**



**TESIS**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN COMBINADA DE  
FERTILIZANTE QUÍMICO, VERMICOMPOSTA Y  
MICORRIZAS EN CULTIVO DE TOMATE**  
*(Solanum lycopersicum L.)*

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN AGRICULTURA PROTEGIDA**

**PRESENTA:**

**JOSÉ GILBERTO CEBALLOS MERCADO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. CARLOS ALFONSO LÓPEZ ORONA**

**CODIRECTOR DE TESIS:**

**DR. GUADALUPE ALFONSO LÓPEZ URQUÍDEZ**

**CULIACÁN, SINALOA, AGOSTO DE 2024**



Dirección General de Bibliotecas  
Ciudad Universitaria  
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios  
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.  
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57  
dgbuas@uas.edu.mx

## UAS-Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional Buelna

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial  
Compartir Igual, 4.0 Internacional



## DEDICATORIA

A mi madre Dolores Mercado Mendoza<sup>†</sup>, que en paz descansa, a pesar de no poderla ver, siempre existió en mis pensamientos y corazón latiendo con más fuerza, guiándome y ayudándome a levantar en mis fracasos, dificultades y golpes de la vida y fue en ti que pude encontrar la grandeza de ser humilde, a mi padre José Gilberto Ceballos Acosta por estar siempre con nosotros de alguna o de otra forma, a mi esposa Isela Judith López Saldaña por siempre estar conmigo en todos nuestros logros desde que estamos juntos y por siempre contar con tu apoyo, a mi hijo Gilberto Misael Ceballos López y a mi niña Gisela Julieth Ceballos López porque ellos son mi fortaleza y ganas de seguir superando todos los obstáculos y a todas esas personas que siempre de una forma u otra me han brindado su confianza y apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Maestría Interinstitucional en Agricultura Protegida, por darme la oportunidad de realizar mi maestría.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, por la beca de manutención otorgada durante estos dos años, la cual sirvió de gran manera para realizar esta investigación.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, en especial a la Facultad de Agronomía, la cual me brindó sus instalaciones para poder realizar esta formación.

Al Dr. Carlos Alfonso López Orona y al Dr. Guadalupe Alfonso López Urquídez por su amistad, apoyo incondicional a lo largo de estos 7 años de amistad, orientándome en diversas actividades, en trabajos, formación académica y por haberme impulsado a estudiar la maestría, muchas gracias.

A mis padres, esposa, hijos y hermanas los cuales siempre me han apoyado en la gran diversidad de decisiones que he tomado a lo largo de mi vida.

Agradecimiento general a todas las personas que formaron parte de esta investigación asesores, compañeros, amigos, familiares, etc. Los cuales, me han brindaron su apoyo y buena vibra durante estos dos años de estudio.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>PÁGINA</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ii
<b>CONTENIDO</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>SUMMARY</b> .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. JUSTIFICACIÓN</b> .....	3
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	5
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	5
4.1. Objetivo general.....	5
4.2. Objetivos específicos.....	5
<b>V. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	6
5.1. Importancia económica del cultivo de tomate.....	6
5.2. Taxonomía del tomate.....	6
5.3. Descripción botánica.....	7
5.3.1. Raíz.....	7
5.3.2. Tallo.....	7
5.3.3. Hojas.....	8
5.3.4. Flores.....	8
5.3.5. Fruto.....	8
5.3.6. Semilla.....	8

5.3.7. Nutrición del tomate.....	9
5.4. Biofertilizantes.....	9
5.5. Micorrizas.....	11
5.5.1. Principales tipos de micorrizas.....	11
5.5.2. Uso de las micorrizas.....	12
5.6. Vermicomposta.....	13
5.7. Estado del arte.....	14
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
6.1. Localización geográfica del experimento.....	19
6.2. Clima y suelo.....	19
6.3. Material genético.....	19
6.4. Preparación del terreno.....	20
6.5. Riego.....	20
6.6. Siembra.....	21
6.7. Trasplante.....	21
6.8. Diseño experimental.....	21
6.9. Fertilización.....	22
6.10. Variables de respuesta.....	23
6.10.1. Altura de planta .....	23
6.10.2. Grosor de planta.....	24
6.10.3. Verdor de las hojas.....	24
6.10.4. Longitud del fruto.....	25
6.10.5. Calibre del fruto.....	25

6.10.6. Peso individual del fruto.....	26
6.10.7. Firmeza del fruto.....	26
6.10.8. Contenido de sólidos solubles en el fruto.....	27
6.10.9. Contenido nutrimental de la planta.....	27
6.10.10. Volumen radical y peso de biomasa de planta.....	28
6.10.11. Análisis de datos.....	28
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>30</b>
7.1. Resultados.....	30
7.1.1. Producción de tomate.....	30
7.1.1.1. Número de frutos.....	30
7.1.2. Peso del fruto.....	32
7.1.3. Rendimiento.....	33
7.1.4. Peso de órganos de la planta.....	34
7.1.5. Concentración de °Brix.....	35
7.1.6. Firmeza del fruto.....	35
7.1.7. Concentración de nutrientes.....	36
7.1.7.1. Concentración de Ca, K y Mg en hoja y tallo de las plantas.....	36
7.1.7.2. Concentración de fósforo y nitrógeno en hoja y tallo de plantas de tomate.....	37
7.1.7.3. Microelementos.....	37
7.2. Discusión de resultados.....	38
<b>VIII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>42</b>

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>PÁGINA</b>
Cuadro 1. Taxonomía del tomate.....	7
Cuadro 2. Requerimientos nutricionales del cultivo del tomate (kg ha <sup>-1</sup> ).....	9
Cuadro 3. Clasificación del Phylum Glomeromycota.....	13
Cuadro 4. Características de la cinta de riego utilizada.....	20
Cuadro 5. Solución de Steiner (en mg L <sup>-1</sup> ) correspondiente al cultivo.....	23
Cuadro 6. Ecuación del modelo de regresión no lineal polinomial de segundo orden para los cuatro tratamientos por número de frutos.....	31
Cuadro 7. Ecuación del modelo de regresión no lineal polinomial de segundo orden para los cuatro tratamientos por rendimiento.....	33
Cuadro 8. Resumen de medias del peso de órganos de la planta de tomate por tratamiento.....	35
Cuadro 9. Concentración de solidos solubles (°Brix) por tratamiento en frutos de tomate por mes.....	35
Cuadro 10. Firmeza de tomate por tratamiento (en kg/cm <sup>2</sup> ) mediante la prueba de Duncan.....	36
Cuadro 11. Comparación de la concentración de Ca, K y Mg por tratamiento. Las letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos aplicando la prueba Duncan.....	36
Cuadro 12. Comparación de la concentración de fósforo y nitrógeno por tratamiento. Letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos aplicando la prueba Duncan.....	37
Cuadro 13. Concentración de micronutrientos en hoja y tallo de tomate por tratamiento (en PPM) mediante la prueba de Duncan.....	38



## ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Producción de tomate en los principales estados durante el año agrícola 2022. Elaboración propia con base en datos del SIAP (2023) .....	6
Figura 2. Fuente: Google Maps, 2023.....	19
Figura 3. Instalación sistema de riego.....	20
Figura 4. Siembra del cultivo de tomate.....	21
Figura 6. Establecimiento del cultivo de tomate.....	22
Figura 7. Aplicación de la vermicomposta.....	22
Figura 8. Inoculación de los hongos micorrízicos orbiculares.....	22
Figura 9. Medición de altura de planta de tomate.....	23
Figura 10. Medición de grosor de planta de tomate.....	24
Figura 11. Medición del nivel de clorofila de las hojas de tomate.....	24
Figura 12. Medición de longitud del fruto.....	25
Figura 13. Medición de calibre del fruto.....	25
Figura 14. Medición de peso individual del fruto.....	26
Figura 15. Medición de firmeza del fruto.....	26
Figura 16. Contenido de sólidos solubles (°Brix) .....	27
Figura 17. Espectrofotómetro de absorción atómica.....	27
Figura 18. Medición de volumen radical, peso húmedo y seco de biomasa aérea de la planta.....	28
Figura 19. Análisis de las diferencias entre tratamientos con un intervalo de confianza del 95 % con respecto al número de frutos por repetición (6 plantas) .....	30
Figura 20. Curvas de la ecuación del modelo de regresión no lineal polinomial de segundo orden para cuatro tratamientos por número de frutos.....	31

Figura 21. Diferencias entre los tratamientos con un intervalo de confianza de 95 % del peso promedio fruto.....	32
Figura 22. Evolución del peso de los frutos de tomate por tratamiento.....	32
Figura 23. Relación del número de frutos y el peso del fruto de tomate.....	32
Figura 24. Curvas de la ecuación del modelo de regresión no lineal polinomial de segundo orden del rendimiento de tomate por tratamiento.....	33
Figura 25. Comparación de los rendimientos por tratamientos mediante la prueba de Kruskal-Wallis y la comparación de medias mediante el procedimiento de Dunn $\pm$ intervalo de confianza.....	34

## RESUMEN

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los más importantes a nivel mundial, siendo una de las hortalizas que más se producen en México. En un sistema de producción intensiva, se requieren grandes cantidades de fertilizantes comúnmente de origen sintético, pero se ha comprobado que gran cantidad de estos son desperdiciados porque las plantas no los pueden absorber. Esto provoca la necesidad de aplicar altas dosis de fertilizantes representando un incremento considerable en la inversión para los productores y, sin embargo, el uso desmedido de estos fertilizantes ocasiona la contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire y degradación del suelo. Por una parte, una de las alternativas que se ha estado implementado para resolver este problema, es el uso de biotecnologías que ayuden a los cultivos, tales como el uso de hongos micorrízicos que estos ayudan a las plantas a ser más eficientes ante situaciones de estrés vegetal, al incrementar su área de exploración de las raíces para absorber agua y nutrientes. Esto a su vez influye para que las plantas toleren los ataques de patógenos, pues, al estar más nutridas las micorrizas, hacen más eficiente el sistema radical de las plantas siendo capaces de alcanzar a mayor distancia nutrimentos y agua a lugares donde las raíces no podrían alcanzar. Por otra parte, el uso de vermicomposta tiene aporte de materia orgánica, mejora la estructura de los suelos, facilitando el desarrollo radicular de las plantas, mejora la infiltración y retención del agua y reduce los riegos de compactación y erosión. Y a través de esto incrementar la absorción de nutrientes en la planta, mejorando la calidad y rendimiento del cultivo de tomate. El experimento se estableció en una casa sombra con una fertilización tradicional, se utilizó solución Steiner al 100 % con los siguientes fertilizantes solubles: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, fosfato monopotásico. Para la aplicación de los microelementos se utilizó un combo fullmix B. Se utilizaron hongos micorrízicos arbusculares (*Claroideoglossum claroideum*) nativos de Sinaloa y vermicomposta “biohumisol” (humusol orgánico). La aplicación de vermicomposta fue directamente en suelo, a una dosis de  $1 \text{ kg m}^{-1}$ . La inoculación de los hongos micorrízicos arbusculares se realizó al momento del trasplante colocando 3 gramos del inóculo a cada cavidad lo que corresponde a la cantidad de 45 esporas aproximadamente por planta. Se

establecieron cuatro tratamientos, el experimento tubo una distribución de bloques completamente al azar, T1: Fertilización, T2: Fertilización + Hongos Micorrízicos arbusculares, T3: Fertilización + Hongos micorrízicos arbusculares + Vermicomposta y T4: Fertilización + Vermicomposta. De cada tratamiento se evaluaron 24 plantas dando un total de 96 plantas. Se evaluaron variables vegetativas como el verdor de las hojas, altura de planta y grosor de tallo. Este aspecto, se encontraron diferencias estadísticamente significativas. A los 90 días después del trasplante se evaluaron variables de calidad de fruto como calibre, longitud, peso individual, firmeza, contenido de sólidos solubles y producción de frutos. Se presentaron diferencias entre los tratamientos con micorrizas y vermicomposta principalmente en el calibre de tomate, teniéndose los valores más altos de calibre, firmeza y rendimiento de fruto. Además, con la aplicación de fertilizantes, micorrizas y vermicomposta aumentó la concentración de K, Ca y Mg en el tallo, hojas y frutos, al igual que mejoró la absorción de elementos poco móviles en la planta como el potasio y el calcio, lo que contribuyó en el aumento de la firmeza y rendimiento de los frutos.

## SUMMARY

Tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most important crops worldwide, being one of the most produced vegetables in Mexico. In an intensive production system, large quantities of fertilizers, commonly of synthetic origin, are required, but it has been proven that a large amount of these are wasted because the plants cannot absorb them. This causes the need to apply high doses of fertilizers, representing a considerable increase in investment for producers and, however, the excessive use of these fertilizers causes different environmental problems such as groundwater contamination, air pollution and soil degradation. One of the alternatives that has been implemented to solve this problem is the use of biotechnologies that help crops, such as the use of microorganisms such as mycorrhizal fungi, that help plants be more efficient in situations of plant stress by increasing its exploration area of the roots to absorb water and nutrients and the plants tolerate pathogen attacks as the mycorrhizae are more nourished, making the root system of the plants more efficient since they are able to reach nutrients and water at greater distances to places where the roots could not reach. And the use of vermicompost provides organic matter, improves the structure of the soil, facilitating the root development of plants, improves water infiltration and retention and reduces the risks of compaction and erosion. And through this, increase the absorption of nutrients in the plant, improving the quality and yield of the tomato crop. The experiment was established in a shade house with traditional fertilization, 100% Steiner solution was used with the following soluble fertilizers: nitrate of calcium, potassium nitrate, potassium sulfate, magnesium sulfate, monopotassium phosphate and for the application of the microelements a fullmix B combo was used. Arbuscular mycorrhizal fungi (*Claroideoglossum Claroideum*) native to Sinaloa and "biohumisol" vermicompost (humusol) were used. The application of vermicompost will be directly on the soil, applying one kilogram per linear meter. The inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi will be carried out at the time of transplanting by placing 3 grams of the inoculum in each cavity, which corresponds to the amount of approximately 45 spores per plant. Four treatments were carried out, the experiment included a completely randomized block design, T1: Fertilization, T2: Fertilization + Arbuscular Mycorrhizal Fungi, T3: Fertilization + Arbuscular Mycorrhizal Fungi +

Vermicompost and T4: Fertilization + Vermicompost. From each treatment, 24 plants were evaluated, giving a total of 96 plants evaluated. Vegetative variables such as leaf greenness, plant height and thickness were evaluated, where no statistically significant differences were found. At 90 days after transplanting, fruit quality variables such as size, length, individual weight, firmness, soluble solids content and fruit production were evaluated. There were differences between the treatments with mycorrhizae and vermicompost, mainly in the size of the tomato, with the larger sizes and better firmness and higher production yield. In addition, with the application of fertilizers, mycorrhizae and vermicompost, the concentration of K, Ca and Mg in the stem, leaves and fruits increased, as well as the absorption of less mobile elements in the plant as potassium, calcium and contributed to increasing the firmness and yield of the fruits.

## I. INTRODUCCIÓN

El tomate es la hortaliza que más se cultiva y consume a nivel nacional e internacional, para el 2021 se sembraron en el mundo 4 762 457 ha<sup>-1</sup>, con una producción de 182 256 458 toneladas (FAOSTAT, 2022). La superficie sembrada con tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en México en 2021 fue de 47 372 ha, con incremento del 26 % anual, siendo Sinaloa el principal productor (SIAP, 2023). El consumo de tomate *per cápita* a nivel mundial, se ha incrementado constantemente, pasando de 15.4 kg en 2001 a 20.2 kg en 2011; en Estados Unidos de América es de 41 kg. Mientras que, en México, el consumo *per cápita* es de 15 kg por año y las variedades más consumidas son saladette, bola y cereza o cherry (FIRA, 2016).

La planta de tomate requiere altos suministros de nutrientes minerales, por lo que se recomienda que se cultive en suelos fértiles, con aplicaciones abundantes y balanceadas de fertilizantes minerales (Álvarez, *et al.*, 2022). Sin embargo, se debe tener cuidado en la fertilización, pues el uso indiscriminado de fertilizantes químicos en la agricultura, también afecta a la fauna benéfica del suelo y, en consecuencia, ha dañado al medioambiente. Por el contrario, se ha demostrado que la aplicación de fertilizantes orgánicos ayuda a mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo con un menor impacto sobre el medioambiente. Además, en muchas ocasiones, los costos de los fertilizantes orgánicos son considerablemente menores que los fertilizantes químicos.

En el suelo vive una gran diversidad de microorganismos, muchos de ellos son benéficos para las plantas. Dentro de este grupo de organismos microscópicos, se encuentran hongos conocidos como micorrizas que colonizan las raíces de las plantas, estableciéndose una relación simbiótica con estas, pues se ha demostrado que el aporte de nutrientes y agua a las plantas, además, en la protección de estas frente a agentes o situaciones que les causan estrés (Miranda-Pérez *et al.*, 2021; Kuila y Ghosh, 2022). En esta simbiosis, el hongo cubre sus demandas de carbono y contribuye para que la planta tenga mayor absorción de agua y nutrientes, principalmente fósforo, zinc y cobre (Pérez, *et al.*, 2019), favoreciendo su crecimiento (Miranda-Pérez *et al.*, 2021). Esto ha permitido que dichos microorganismos se utilicen

como biofertilizantes en diversos cultivos, pues la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) contribuye en el manejo de los recursos naturales para el desarrollo de una agricultura sostenible (Thirkell *et al.*, 2017). Sin embargo, en el estudio de la acción de los HMA como biofertilizantes, es importante considerar la realidad del campo agrícola donde se realiza la investigación, así como las interacciones de los inoculantes con las especies de HMA que ya se encuentran en el lugar (Basiru y Hijri, 2022).

La aplicación de biofertilizantes es una práctica cada vez más frecuente, teniendo beneficios económicos y ecológicos. Así mismo, los biofertilizantes alternativos, como es la aplicación de micorrizas, para incrementar la productividad de los cultivos con menor impacto negativo en el suelo, es fundamental en la agroecología, ya que ocurre una asociación simbiótica entre plantas y hongos.



## II. JUSTIFICACIÓN

En la búsqueda de alternativas para mejorar los suelos de uso agrícola se aplican tres tipos de enmiendas biológicas, éstas son: a) los bioestimulantes, lo que incluye aminoácidos, quitosano, extractos de algas y sustancias húmicas; b) la aplicación de material orgánico al suelo, tales como estiércol, vermicomposta y biocarbón; c) y el uso de inoculantes microbianos, esto es bacterias asociadas a leguminosas, hongos micorrízicos arbusculares y hongos hectomicorrízicos (Abbott *et al.*, 20218).

Al buscar alternativas para disminuir el uso de fertilizantes químicos en la producción agrícola, esta investigación se encuentra alineada con los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030, específicamente con el objetivo 12 (Producción y consumo responsable), particularmente con la meta **12.2** “De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales” (ONU, 2023). En congruencia con lo anterior y, ante las necesidades crecientes de alimentar a la población mundial y el deterioro ambiental existente, es necesario reducir la aplicación de fertilizantes químicos convencionales mediante la biofertilización, la cual consiste en aumentar las poblaciones HMA en la rizosfera de las plantas (Igiehon y Babalola, 2017). La utilización de estos hongos en combinación con las plantas, permitirá también el mejoramiento de los suelos (Kumar, 2022).

En el estado de Sinaloa, el cultivo de tomate es una de las hortalizas más importantes por su alta aportación al sector socioeconómico. No obstante, su producción implica altos costos económicos. Uno de los conceptos en los que se invierte, es en la adquisición de fertilizantes, ya que esta hortaliza requiere de altas cantidades de este insumo, el cual no es completamente aprovechado por las plantas, resultando además una contaminación potencial en el suelo (Villarreal-Romero *et al.*, 2009).

La fertilización convencional es la más utilizada en la producción de tomate, sin embargo, se deben generar alternativas viables y no agresivas con el medioambiente. Una de ellas puede ser la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). La utilización de estos microorganismos es viable en cualquier sistema de producción agrícola, debido a las funciones que realizan una vez asociadas con las plantas. Al

respecto, Kuila y Ghosh (2022), señalan que la simbiosis de HMA con las plantas, tiene los siguientes beneficios en la agricultura: a) aumenta el crecimiento y la nutrición de las plantas al obtener más nitrógeno (N), fósforo (P) y otros nutrientes menos móviles; 2) aumenta la capacidad de absorción y retención de agua que inicia la tolerancia a la sequía; 3) aumenta la tolerancia a la salinidad del suelo y la toxicidad de metales pesados; 4) ayuda a superar el estrés biótico y fortalece la defensa de las plantas contra patógenos; 5) mejora la calidad del suelo; (6) mejora el vigor y el rendimiento de las plantas.

Por otra parte, al utilizar vermicomposta, permite que muchos nutrientes sean cambiados a su forma más simple, favoreciendo que estos sean absorbidos por las plantas (Matos *et al.*, 2022). La vermicomposta satisface la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos y mejorando el desarrollo de los cultivos. Además, ayuda a la fertilidad de los suelos, el ajuste del pH, las propiedades físicas del suelo, la actividad microbiana y el incremento de la materia orgánica (Ratnasari *et al.*, 2023).

### **III. HIPÓTESIS**

La aplicación combinada de fertilizante químico, vermicomposta y micorrizas influye en el adecuado desarrollo, calidad y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

### **IV. OBJETIVOS**

#### **4.1. Objetivo general**

Determinar el efecto de fertilizante químico en combinación con la aplicación de vermicomposta y micorrizas sobre la producción y calidad del fruto de tomate para identificar aquellos tratamientos que permitieran incrementar la producción y/o mejorar la calidad de frutos.

#### **4.2. Objetivos específicos**

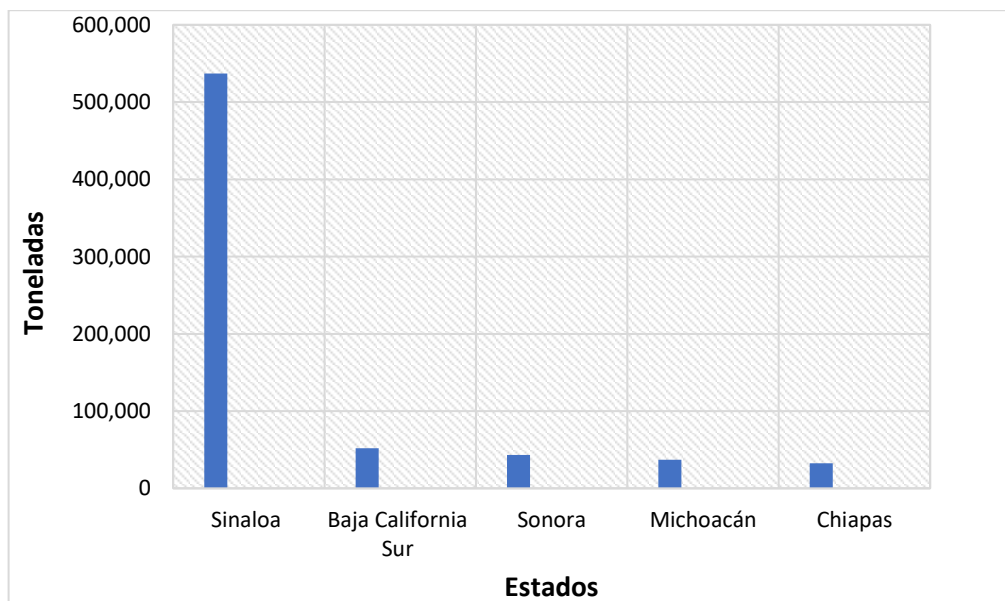
- a) Determinar el efecto de fertilizante químico con la aplicación de vermicomposta en el desarrollo vegetal, rendimiento y calidad del tomate.
- b) Determinar el efecto de fertilizante químico con la aplicación de micorrizas el desarrollo vegetal, rendimiento y calidad del tomate.

## V. REVISIÓN DE LITERATURA

### 5.1. Importancia económica del cultivo de tomate

El cultivo del tomate, en 2022 ocupó el quinto lugar en el valor de la producción agrícola primaria en México, con 4.6 % del valor total, después del maíz grano (19.4 %), la caña de azúcar (6.0 %), el aguacate (5.9 %) y el chile verde (4.7 %) (SIAP, 2023).

Sinaloa fue el principal estado productor en el ciclo Otoño-invierno 2022, con un volumen de producción 536 829 t, concentrando 62.2 % de la producción nacional, le siguen en importancia; Baja California Sur con 51 988 t, aporta 6.0 %, Sonora 43 370 t (5.0 %) y Michoacán 36 855 t que contribuye con 4.3 %, estos cuatro estados aportan más de la mitad de la producción del País con 77.5 % (Figura 1).



**Figura 1. Producción de tomate en los principales estados durante el año agrícola 2022. Elaboración propia con base en datos del SIAP (2023).**

### 5.2. Taxonomía del tomate

El tomate es una especie perteneciente a la familia de las solanáceas. Esta familia comprende unas 2300 especies agrupadas en 96 géneros, entre las cuales se incluyen algunas especies de gran importancia económica (CONABIO 2019). En el Cuadro 1 se muestra la taxonomía del tomate.

**Cuadro 1. Taxonomía del tomate**

Categoría Taxonómica	Taxón
Reino	Plantae
Filo	Magnoliophyta
Clase	Dicotyledoneae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	Solanum
Especie	lycopersicum

Fuente: CONABIO (2019).

### **5.3. Descripción botánica**

A continuación, se hace una breve descripción de los órganos de la planta de tomate de acuerdo con Arias-Mota, *et al.* (2019).

#### **5.3.1. Raíz**

La planta tiene una raíz principal pivotante que crece unos 3 cm diarios hasta llegar a los 60 cm de profundidad aproximadamente), simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa. Este sistema radicular puede tener otras dimensiones, dependiendo del manejo agronómico que se le aplique. Por ejemplo, cuando la planta procede de un trasplante, la raíz pivotante desaparece siendo mucho más importante el desarrollo horizontal, donde las raíces laterales y adventicias crecen tanto como la principal. El sistema radicular puede alcanzar hasta 1.5 m de profundidad y se estima que un 75 % del mismo se encuentra entre los primeros 45 cm de profundidad del suelo.

#### **5.3.2. Tallo**

El tallo es erguido y cilíndrico en plantas jóvenes, a medida que esta crece, el tallo cae y se vuelve anguloso. Tiene tricomas en la mayor parte de sus órganos y glándulas que segregan una sustancia color verde aromática. El tallo puede llegar a medir de 40 a 250 cm, con ramificación abundante y yemas axilares, si al final del

crecimiento todas las ramificaciones tienen yemas reproductivas, estas se clasifican como de crecimiento determinado; y si terminan con yemas vegetativas, son de crecimiento indeterminado.

### **5.3.3. Hojas**

Las hojas son cortas, de tamaño medio o largas y tipo papa. Son compuestas, se insertan sobre los diversos nudos en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once folíolos. El haz es de color verde y el envés de color grisáceo, su tamaño depende de las características genéticas de la variedad. En tomates más rústicos el tamaño de sus hojas es más pequeño. La disposición de nervaduras en los folíolos es penninervia.

### **5.3.4. Flores**

La flor se agrupa en inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por racimo. La floración ocurre entre los 55-75 días desde el nacimiento de la planta hasta que se inician los botones florales. La flor está formada por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo, y la corola gamopétala. El androceo tiene cinco o más estambres adheridos a la corola con las anteras que forman un tubo. El gineceo se compone de 2-30 carpelos que dan origen a los lóculos o celdas del fruto.

### **5.3.5. Fruto**

El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno; el más común es el rojo en la madurez, la pulpa contiene una proporción del 33 % del peso fresco del fruto (Arias-Mota *et al.*, 2019).

El fruto está unido al pedúnculo mediante una articulación en la que se encuentra un punto de abscisión; algunas variedades no tienen este punto de abscisión, por lo que son definidas como variedades tipo '*jointless*'.

### **5.3.6. Semilla**

La semilla es de diferentes tonalidades en su color, desde el grisáceo, hasta el color paja, tiene forma oval aplastada, tamaño están entre 3-5 mm de ancho y 2.5 mm de largo y cubierta de vellosidades. En un gramo puede haber de 300-350 semillas

(Arias-Mota *et al.*, 2019). El peso de 1000 semillas es de aproximadamente 2.4 g. En producciones bajo invernadero, 1 kg de fruto produce aproximadamente 4 g de semilla (1200 semillas aproximadamente). En campos de producción la regla es: el 1 % del peso del fruto es el peso de semilla.

### 5.3.7. Nutrición del tomate

Los mejores suelos para el desarrollo del tomate son los fértiles, bien aireados y con buen drenaje interno, con buena retención de humedad, de texturas franco a franco arcillosas, con contenido de materia orgánica mayor de 5 % y una buena cantidad de nutrientes (Godoy-Hernández *et al.*, 2009). El pH del suelo debe oscilar entre 5.8 a 6.8 para garantizar la máxima disponibilidad de nutrientes. Además, el terreno debe ser uniforme y estar libre de piedras y malas hierbas (Lara, 1999). Dependiendo de la variedad de tomate y del tipo de manejo, serán las demandas nutricionales; sin embargo, en forma general, en el Cuadro 2 se muestran los requerimientos nutricionales del cultivo son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre.

**Cuadro 2. Requerimientos nutricionales del cultivo del tomate (kg ha<sup>-1</sup>)**

	Elemento					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Cantidad	150	200	275	150	25	22

Fuente: (Godoy-Hernández *et al.*, 2009).

### 5.4. Biofertilizantes

Los biofertilizantes se integran en diferentes grupos, teniendo en común que son organismos vivos que ayudan al desarrollo de las plantas en diferentes formas, en el caso de los HMA y, de acuerdo con Sun y Shahrajabian (2023), entre otros beneficios, contribuyen en el aumento el tamaño y modificando la arquitectura de la raíz, con lo cual la planta puede absorber agua y nutrientes en mayor cantidad y nutrientes, en especial fósforo en condiciones de deficiencia de nutrientes.

Los HMA son catalogados como biofertilizantes naturales debido a que están en simbiosis con las plantas, ellos reciben productos fotosintéticos elaborados por las plantas, mientras que proporcionan agua, nutrientes y las protegen del ataque de patógenos, por lo que pueden ser una alternativa de fertilización de los cultivos

agrícolas (Berruti *et al.*, 2016). Además, su efecto como biofertilizante puede ser de al menos dos años (Pellegrino *et al.*, 2012; Igiehon y Babalola, 2017; Basiru y Hijri, 2022).

La respuesta de las plantas a la inoculación con HMA, puede ser afectada por la compatibilidad entre las especies en las que se pretende ocurra la simbiosis, la competencia con otras especies de microorganismos, las características del entorno y el momento en que ocurra la inoculación (Berruti *et al.*, 2016). A pesar de ello, se tienen evidencias de que HMA introducidos al agroecosistema han tenido éxito al establecer una relación simbiótica con el cultivo (Pellegrino, 2012).

La absorción de nitrógeno que realizan las plantas por medio de las raíces es favorecida por la acción de los HMA en la relación simbiótica, sin embargo, las actividades agrícolas pueden entorpecer esta relación ya que estos hongos son muy sensibles a las perturbaciones que ocurren en el suelo como producto del laboreo (Verzeaux, 2017).

En los ecosistemas agrícolas, la acción de los HMA es afectada por la fertilización química convencional, por lo que es necesario comprender el comportamiento de la relación simbiótica entre los hongos y las plantas ante diferentes programas de fertilización para potenciar dicha relación (Ma *et al.*, 2021).

Los biofertilizantes mejoran la estructura y la porosidad del suelo, la capacidad de retención de agua y la biodisponibilidad de los nutrientes (Mendívil, 2022). Con la aplicación de biofertilizantes se mejoran las condiciones del medioambiente, contribuyendo en la transformación de la materia orgánica, en el ciclo de los nutrientes, mejoramiento del suelo, la fijación de carbono y la regulación del crecimiento de los cultivos, así como el desarrollo de los microorganismos (Chávez-Díaz, *et al.*, 2021). Los biofertilizantes, además, de manera natural, incrementan la fertilidad del suelo a través de procesos tales como solubilización del fósforo, la fijación de nitrógeno y síntesis de sustancias que ayudan al desarrollo de las plantas y son amigables con el medioambiente, constituyéndose en una alternativa de fertilización (Gómez *et al.*, 2010; Castillo-Ferrer *et al.*, 2022).

Con los HMA se puede llegar a aportar 20 % del nitrógeno que requieren los cereales y hasta 70 % de las necesidades en leguminosas; además, con ello se puede



disminuir entre 20 y 40 % el uso de los fertilizantes minerales. Además, son de bajo costo y de fácil aplicación. Está demostrado que propician altos rendimientos en los cultivos cuando se combinan algunas cantidades de otros fertilizantes, abonos orgánicos y abonos verdes (Cabrera *et al.*, 2016).

Los HMA tienen varias funciones dentro del agroecosistema, destacado su acción como fertilizantes, como sustitutos del N, P y oligoelementos, son eficaces para disminuir el estrés biótico y abiótico (Kuila y Ghosh, 2022). Así mismo, los HMA son más activos en suelos secos y bajos en nutrientes y actúan en sinergia con otros microorganismos que se encuentran en la raíz, promoviendo el desarrollo de las plantas (Kuila y Ghosh, 2022).

## **5.5. Micorrizas**

El término micorriza procede del griego *mykos* que significa hongo y del latín *rhiza* que significa raíz, definiendo así la simbiosis entre el micelio de un hongo y las raíces de un vegetal. De entre las diversas asociaciones benéficas planta-microorganismo, la micorrízica es la que se encuentra más ampliamente extendida sobre la superficie terrestre, alrededor del 90 % de las plantas terrestres la forman los HMA son microorganismos rizosféricos, cosmopolitas encontrados en la mayoría de las plantas terrestres, capaces de colonizar el sistema radical y establecer una simbiosis con las plantas (Ho-Plágago., 2018), las micorrizas, son asociaciones entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas. Esta asociación coloniza biotróficamente la corteza de la raíz, sin causar daño a la planta. A su vez, la planta hospedera proporciona al hongo simbionte (heterótrofo), compuestos carbonados procedentes de la fotosíntesis y un hábitat ecológico protegido.

### **5.5.1. Principales tipos de micorrizas**

Diferentes taxónomos declaran que existen varios tipos o grupos de micorrizas, aunque pueden considerarse tres tipos de asociaciones micorrízicas de mayor importancia y que son vigentes hasta nuestros días, tomando en consideración sus características morfo anatómicas y ultra estructurales y se clasifican en: Endomicorrizas; Ectomicorrizas y Ectoendomicorrizas (Soto *et al.*, 2022). Las **Endomicorrizas** tienen hifas que penetran en las células de las raíces produciendo

estructuras ovales (vesículas) o invaginaciones conocidas como arbuscúlos que se ramifican dicotómicamente dentro de la célula para aumentar la superficie de interacción del hongo con la planta hospedera. Las **ectomicorrizas** desarrollan sus hifas entre las células corticales de la raíz produciendo una estructura reticular llamada red de Harting. La capa puede variar extensamente en espesor, color y textura dependiendo de la combinación determinada entre la planta y el hongo. Las **ectoendomicorrizas** son un grupo pequeño de plantas y micelios, sus funciones son similares al grupo de Ectomicorrizas, aunque también desarrollan funciones similares a algunas endomicorrizas.

### **5.5.2. Uso de las micorrizas**

La labranza y todas aquellas actividades que manipulen los primeros centímetros del suelo cultivable, producen la ruptura y disgregación del micelio externo de los HMA debido a que este micelio contribuye sustancialmente a la formación de la estructura del suelo, su destrucción trae consecuencias indeseables para la infiltración y demás propiedades físicas del suelo (Reyes-Pérez *et al.*, 2020). El uso de estos microorganismos edáficos en la agricultura constituye una alternativa viable como biofertilizante, a que permite reducir el uso de energía, la degradación del agroecosistema y las pérdidas de nutrientes de los suelos. Sin embargo, la aplicación de fungicidas y de plaguicidas tiene efectos en los HMA (Carosio, 2017), aspecto que hay que tomar en cuenta en el manejo integral del cultivo.

Los HMA también se utilizan para el control de patógenos, por ejemplo, la combinación de estos hongos con *Trichoderma harzianum*, contribuye a la disminución del ataque del nematodo *Nacobbus aberrans* en plantas de tomate (Betancourt, 2020).

Los HMA pertenecen al Phylum Glomeromycota y, los especialistas agrupan en este taxón a poco más de 200 especies, sin embargo, aún existen especies a las que no se les ha podido agrupar claramente en este phylum debido al desacuerdo entre los taxónomos (Salmerón-Santiago *et al.*, 2015). Sin embargo, para efectos de ubicar a los HMA, objetivo de la presente investigación, en el Cuadro 3 se presenta, a nivel de género la clasificación publicada por Oehl *et al.* (2011).

**Cuadro 3. Clasificación del Phylum Glomeromycota**

Clase	Orden	Familia	Género		
<i>Glomeramycetes</i>	<i>Glomerales</i>	<i>Glomeraceae</i>	<i>Glomus</i>		
			<i>Funneliformis</i>		
				<i>Septoglomus</i>	
				<i>Simiglomus</i>	
				<i>Rhizophagus*</i>	
		<i>Entrophosporaceae</i>		<i>Claroideoglomus</i>	
				<i>Albahypha</i>	
				<i>Viscospora</i>	
		<i>Diversisporales</i>	<i>Diverssporaceae</i>	<i>Entrophospora</i>	
				<i>Diversispora</i>	
				<i>Redeckera</i>	
				<i>Otopora</i>	
				<i>Tricispora</i>	
				<i>Sacculosporaceae</i>	<i>Sacculospora</i>
				<i>Pacisporaceae</i>	<i>Pacispora</i>
		<i>Gigasporales</i>	<i>Acaulosporaceae</i>	<i>Kuklospora</i>	
				<i>Acaulospora</i>	
	<i>Scutellosporaceae</i>			<i>Orbispora</i>	
				<i>Scutellospora</i>	
	<i>Dentisculataceae</i>			<i>Fuscutata</i>	
		<i>Dentisculata</i>			
		<i>Quatunica</i>			
		<i>Recocetraceae</i>	<i>Cetraspora</i>		
			<i>Racocetra</i>		
<i>Archaeosporomycetes</i>	<i>Archaosporales</i>	<i>Gigasporaceae</i>	<i>Gigaspora</i>		
		<i>Ambisporaceae</i>	<i>Ambispora</i>		
		<i>Archaeosporaceae</i>	<i>Archaeospora</i>		
			<i>Intraspora</i>		
<i>Paragloeromycetes</i>	<i>Paraglomerales</i>	<i>Geosiphonaceae</i>	<i>Geosiphon</i>		
		<i>Paraglomeraceae</i>	<i>Paraglomus</i>		

Fuente: Oehl *et al.*, 2011)

\*Este género no aparece en la lista publicada por Frtiz *et al.*, 2011), sin embargo, se consideró incluirlo pues, de acuerdo con Basiru y Hijri, 2022), es el género más utilizado en los experimentos con HMA.

Como se muestra en el cuadro anterior, son varios géneros de HM, sin embargo, entre los más estudiados, destacan los géneros *Rhizophagus* (46%), *Funneliformis* (41%), *Claroideoglomus* (15%), *Glomus* (9%) y *Gigaspora* (2%) (Basiru y Hijri, 2022).

## 5.6. Vermicomposta

La aplicación de la vermicomposta en los suelos de uso agrícola provoca el incremento de los rendimientos de los cultivos, debido a que proporciona una aportación gradual de elementos como el nitrógeno, fósforo y potasio; proporciona un entorno favorable para el desarrollo de las raíces al mejorar la estructura del suelo

favoreciendo la agregación y aireación del suelo; al tenerse una condición de suelo más sana, se desarrollan los microorganismos benéficos, los cuales compiten contra los fitopatógenos que se encuentran en el suelo; la incorporación de materia orgánica al suelo favorece para que esté tenga mayor retención de agua, ya que la vermicomposta contiene entre 32 y 66 % de humedad, lo que favorece la eficiencia del riego (Mohite, *et al.* 2024).

Por su parte Ratnasari *et al.* (2023) señalan que el uso de la vermicomposta en la agricultura mejora la estructura del suelo, modifica el pH del suelo acercándolo al neutro y con ello contribuye al mejor desarrollo de las plantas. Además, tiene el beneficio de la salud pública al reducir los desechos orgánicos e inorgánicos. Así mismo, la vermicomposta incrementa la disponibilidad de los principales nutrientes que requiere la planta, como lo es nitrógeno y fósforo (Devi y Khwairakpam, 2021).

Otro de los beneficios de la aplicación de vermicomposta en suelo en la disminución del daño causado a las plantas por patógenos del suelo (Zhao *et al.*, 2019).

### **5.7. Estado del arte**

Los biofertilizantes se integran en diferentes grupos, teniendo en común que son organismos vivos que ayudan al desarrollo de las plantas en diferentes formas, en el caso de los HMA y, de acuerdo con Sun y Shahrajabian (2023), entre otros beneficios, lo hacen a través de diferentes mecanismos: contribuyen en el aumento el tamaño y modificando la arquitectura de la raíz, con lo cual la planta puede absorber agua y nutrientes en mayor cantidad y nutrientes, en especial fósforo en condiciones de deficiencia de nutrientes.

Desde hace años se ha estudiado el efecto de la vermicomposta y la acción de los hongos micorrízicos. Velasco *et al.* (2001) estudió su efecto en la producción de tomatillo, manejando el hongo endomicorrízico arbuscular *Glomus intraxadix* en combinación con la bacteria *Azospirillum brasiliense*. Estos autores encontraron que dicha combinación influye en el incremento de fósforo y nitrógeno en la planta de tomatillo, así como mayor actividad fotosintética, lo cual se reflejó en mayor producción de biomasa.

Wahab *et al.* (2023) realizaron una revisión de artículos científicos donde se reportan

los beneficios que generan los HMA al suelo y a las plantas, indicando los nombres de los hongos, sobre que cultivo se experimentó y bajo qué condiciones de cultivo se llevaron a cabo los experimentos. Reportando una gran cantidad de beneficios a los agroecosistemas

Los HMA, también se aplican al suelo para reducir el efecto nocivo de metales pesados. Al respecto, Garg y Cheema (2021), evaluaron la eficiencia de tres HMA, estos fueron: *Claroideogloium claroideum* *Rhizogloium intraradices* *Mesorhizobium ciceri*, para disminuir el estrés causado por el arseniato en tres genotipos de garbanzo. Los autores indican que con los tres hongos evaluados se tuvieron resultados positivos. Además, agregan que la eficiencia estará relacionada con las características genéticas de la planta hospedera.

Sales *et al.* (2022) evaluaron el efecto de la combinación de HMA nativos en el rendimiento y calidad de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en campo. Las variables de respuesta fueron, por un lado, la colonización micorrízica de las raíces, la densidad de esporas y la diversidad de HMA. Por otro lado, se obtuvo, la productividad y la calidad de la caña. Los autores encontraron que las especies *Acaulospora scrobiculata* y *Glomus* sp. fueron las más frecuentes. Así mismo, encontraron que la productividad y calidad de la caña de azúcar fue más alta en los tratamientos con HMA.

Ma *et al.* (2021) evaluaron la modificación de la biodiversidad los HMA que se encuentran en la rizósfera y en la endósfera de la raíz de trigo (*Triticum aestivum*) bajo diferentes regímenes de fertilización y un control (sin fertilización), los tratamientos incluían fertilización química convencional a base de N, P y K, paja de trigo y estiércol de vaca. Ellos encontraron la aplicación de N, P y K a largo plazo disminuyó la diversidad alfa de HMA en la rizósfera, mientras que los tratamientos que incluían paja o estiércol no tuvieron modificación en su biodiversidad. Así mismo, la fertilización con N, P y K aumentó significativamente la diversidad alfa HMA en la endosfera, mientras que en los tratamientos con paja y estiércol dicha biodiversidad disminuyó significativamente.

Pellegrino *et al.* (2012) muestra que la introducción de HMA en los campos de cultivo ha sido exitosa al actuar en simbiosis con el cultivo, estimulando el desarrollo de este por dos años. Sin embargo, los microorganismos introducidos, señalan los autores, pueden desplazar a los HMA nativos, lo cual puede ser un impacto negativo que necesita ser evaluado.

Mbuthia *et al.* (2015) realizaron evaluaron el impacto de la labranza y la labranza cero a lo largo de 31 años comparando cultivos de cobertura *Vicia villosa* y *Triticum aestivum* con un testigo sin cobertura y aplicación de N (0, 34, 67 y 101 kg ha<sup>-1</sup>, sobre la calidad del suelo y la actividad microbiana en un cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*). Ellos encontraron entre otras cosas que, al aumentar la dosis de N, disminuye la cantidad de hongos micorrízicos.

Preciado-Rangel *et al.* (2014) evaluaron el efecto de la fertilización orgánica formulada con base en lixiviado de vermicomposta en el rendimiento y calidad nutrimental de forraje verde de maíz bajo un sistema de producción de hidroponía. Ellos encontraron que este tipo de fertilización tiene efecto positivo en las variables evaluadas y concluyen que el uso de la vermicomposta es una alternativa para la producción de maíz bajo las condiciones de zonas áridas reduciendo costos de producción y es amigable con el medioambiente.

Roblero-Ramírez *et al.* (2014), evaluaron cinco dosis de vermicomposta en la producción de tomate en Sinaloa. Las dosis evaluadas fueron: 0, 500, 1 000, 1 600, 2 000 y 4 000 kg ha<sup>-1</sup>, concluyendo que la dosis más alta fue la que más mejoró la calidad y el rendimiento de esta hortaliza.

En un experimento realizado por Guo *et al.* (2023), simulando una rotación de cultivos en suelos contaminados con metales pesados, mostraron que el uso de HMA ayuda a la descomposición de la paja del cultivo anterior (*Brassica napus* L.) provocando la liberación de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio y mejoró su disponibilidad para el cultivo siguiente, que en este caso era maíz, aumentando su altura y producción de biomasa, así como la reducción de metales pesados (plomo y cadmio) en sus tejidos.

Wu *et al.* (2023) probaron el efecto de la vermicomposta en el rendimiento y calidad del tomate bajo condiciones de suelo salino, comparándolo con la fertilización química comercial y con el estiércol de vaca. Ellos encontraron, que el rendimiento de tomate no aumentó en los tratamientos con fertilizante químico y si hubo un incremento en la calidad y el rendimiento en el tomate en el tratamiento con vermicomposta. En este tratamiento se mejoró la condición del suelo, lo que repercutió en el mejor desarrollo de la planta.

Wang *et al.* (2017) probaron el efecto de remplazar los fertilizantes minerales mediante la aplicación de fertilizantes orgánicos en la fertilidad del suelo y en el rendimiento y calidad del tomate. Para ello, establecieron un experimento con cuatro tratamientos: a) fertilizante convencional con urea, b) composta de estiércol de pollo, c) vermicomposta, d) el testigo sin fertilizante. Encontraron que los tomates bajo el tratamiento vermicomposta y el estiércol de pollo provocaron que las plantas crecieran con mejor diámetro de tallo y altura de planta y concluyen que la vermicomposta puede ser utilizada como fertilizante para mejorar el rendimiento y la calidad del fruto, en especial en aquellos suelos que no tienen antecedentes de siembra de tomate.

Manh y Wang (2014) evaluaron el efecto de la vermicomposta, producida a partir de desechos de arroz, en el rendimiento de melón (*Cucumis melo* L.). Ellos encontraron que esta vermicomposta, mezclada con cenizas de cáscara de arroz y cáscara de coco en una proporción de 1:1:1 mejoraron la altura de la planta, el área foliar, la biomasa y la concentración de P, K, Ca y Fe: Los autores consideran que el aumento en el crecimiento de las plántulas de melón puede ser causados por el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del sustrato cuando se combina con la vermicomposta.

Truong y Wang (2015) evaluaron diferentes concentraciones de vermicomposta en la calidad y el crecimiento de dos variedades de tomate. La vermicomposta fue mezclada en ceniza de cascarilla de arroz y en fibra de coco. Los autores encontraron que la mezcla de vermicomposta, ceniza de cascarilla de arroz y fibra de coco en una proporción de 1:1:1 fue la mejor combinación influyendo en el crecimiento de la planta. La aplicación de vermicomposta no afectó los contenidos de fósforo P, Fe y Zn.

Aunque sí favoreció para que se incrementaran las concentraciones de N, K, Ca, Mg y Mn en los brotes.

Khzari *et al.* (2015), evaluaron el efecto la vermicomposta y hongos micorrízicos arbusculares bajo condiciones de invernadero en el desarrollo de la planta forrajera carretilla (*Medicago polimorpha*) establecida en el suelo. Se tuvieron 6 niveles de concentración de vermicomposta en combinación con dos niveles de micorrizas (con y sin micorrizas). Ellos encontraron que conforme se incrementa la concentración de vermicomposta, una relación positiva entre la concentración de vermicomposta con el crecimiento radicular, el peso seco, contenido de K, N, y área foliar. En el suelo, con la vermicomposta se incrementó el pH y la conductividad eléctrica. También aumentó la capacidad de retención de agua del suelo. Por su parte, con la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares aumentó significativamente el peso seco de brotes y raíces, y el contenido de K en el área foliar. En el suelo disminuyó la densidad aparente del suelo.



## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Localización geográfica del experimento

La presente investigación se realizó en una casa sombra de un productor cooperante en Culiacán, Sinaloa, México en la localidad del ejido Florida con coordenadas 24°27'26.9"N 107°15'57.4"W. (Figura 2).

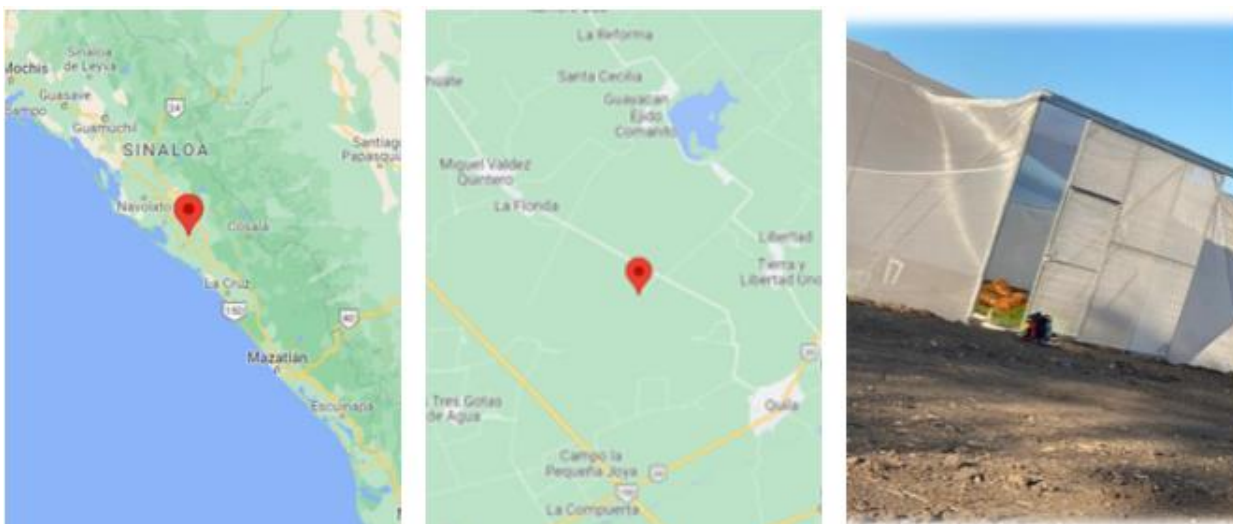


Figura 2. Fuente: Google Maps, 2023.

### 6.2. Clima y suelo

El clima de la localidad la Florida, Quila, Culiacán, Sinaloa, es mayormente seco, y muy cálido. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 13 °C a 36 °C y rara vez baja a menos de 9 °C o sube a más de 39 °C (Weather spark, 2023). El tipo de suelo donde se llevó a cabo el experimento es franco-arcilloso, de acuerdo con el triángulo textural de la USDA.

### 6.3. Material genético

Se utilizó el híbrido “Xiramat Rz F1” de la casa comercial “Rijk Zwann”. Tomate tipo oval o saladette de color rojo, para cosechar en suelto. Es de planta fuerte, de buen vigor y con buena producción su peso promedio es de 150 gramos. Es una variedad con planta de excelente vigor, buen comportamiento ante enfermedades e ideal para etapas de otoño-invierno. Concentra su producción de frutos en calibres súper

selectos para mercado de exportación y es ideal para producir bajo condiciones de malla sombra e invernadero.

#### 6.4. Preparación del terreno

Inicialmente el terreno se barbechó a una profundidad de 30 cm, después se realizaron tres rastreos cruzados para dejar una textura fina y favorecer el desarrollo de raíces del cultivo. Posteriormente se marcaron las camas a una distancia de 1.60 m entre hileras y 28 m de longitud.

#### 6.5. Riego

Se instaló un sistema de riego por goteo, donde se utilizó cinta de marca Rivulis con las especificaciones que se muestran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Características de la cinta de riego utilizada**

Diámetro (mm)	Espesor de pared (mm)	Distancia entre goteros (m)	Caudal emisor (L/h)
16	0.15	0.20	1.1

Fuente: (Rivulis, 2023).

Se colocaron una cinta de riego por cama (Figura 3).



**Figura 3. Instalación sistema de riego.**

## 6.6. Siembra

La siembra se realizó en charolas de unicel de 128 cavidades, donde se utilizó como sustrato una combinación de 80 % de *peat moss* y 20 % de vermiculita como se muestra en la (Figura 4).



Figura 4. Siembra del cultivo de tomate

## 6.7. Trasplante

El trasplante se realizó de manera manual una vez que las plántulas presentaron las tercer o cuarta hoja verdadera a los 30 días después de la siembra. Se trasplantó en las camas de una hilera a una distancia de 40 cm entre cada planta.

## 6.8. Diseño experimental

Se estableció un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos con seis repeticiones, los tratamientos fueron los siguientes: T1 fertilización (solución Steiner), T2 fertilización + HMA, T3 fertilización + HMA + vermicomposta, T4 fertilización + vermicomposta.

El experimento se estableció en tomate bajo condiciones de malla sombra como se muestra en la Figura 5, con una superficie de 2450 m<sup>2</sup>. La aplicación de vermicomposta fue directamente en suelo, aplicando 1 kg m<sup>-1</sup> como se muestra en la Figura 6, La inoculación de los HMA se realizó al momento del trasplante colocando 3 gramos del inóculo a cada cavidad lo que corresponde a la cantidad de 45 esporas aproximadamente por planta (Figura 7). Se utilizaron hongos micorrízicos

arbusculares (HMA) (*Claroideoglomus claroideum*) extraídos de la rizósfera de *Pithecellobium dulce* en el estado de Sinaloa.

Se utilizó vermicomposta “Biohumisol” (humisol orgánico), (pH 7-8, materia orgánica 20-30 %, N 1.3-1.5 %, P 1-1.4 %, K 1.3 %, Ca 1-3 %, Mg 0.95 %, Zn 400-500 ppm, Cu 100-400 ppm, ácidos húmicos 7-15 %, ) la cual se aplicó un kilogramo por metro lineal, lo cual representa 6.25 t ha<sup>-1</sup>.



**Figura 6. Establecimiento del cultivo de tomate**



**Figura 7. Aplicación de la vermicomposta**



**Figura 8. Inoculación de los hongos micorrízicos arbusculares**

## **6.9. Fertilización**

La fertilización se llevó acabo de la siguiente manera:

**En la fertilización convencional** se utilizó solución Steiner al 100 % con los siguientes fertilizantes solubles: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, fosfato monopotásico y para la aplicación de los microelementos se utilizó un combo fullmix B. (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Solución de Steiner (en mg L<sup>-1</sup>) correspondiente al cultivo**

Sal	Aniones			Cationes			ml en 1000 L
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	
Ca(NO <sub>3</sub> ) 4H <sub>2</sub> O	146				180		947
KNO <sub>3</sub>	21.3			66.3			177
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			71.64	168			398
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O			63.7			48	498
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		31		38.2			136
mg L <sup>-1</sup> aportados	167.3	31	135.34	272.5	180	48	0
mg L <sup>-1</sup> requeridos	168	31	112	273	180	48	0

## 6.10. Variables de respuesta

Se midieron los efectos de los cuatro tratamientos sobre el crecimiento, desarrollo y concentración de nutrientes en las plantas de tomate. De igual manera, se evaluaron los efectos de los cuatro tratamientos sobre la calidad y producción de frutos de tomate.

### 6.10.1. Altura de planta

Se midió la altura de la planta desde la base del tallo hasta la punta de crecimiento apical (Figura 9), utilizando un flexómetro (Truper®, México). Esta medición se realizó una vez por semana durante cuatro meses.



**Figura 9. Medición de altura de planta de tomate**



### 6.10.2. Grosor de planta

Se midió por debajo de las hojas cotiledóneas ubicadas en la base del tallo (Figura 10), con un vernier digital (Truper®, México). Esta medición se realizó una vez por semana durante cuatro meses.



**Figura 10. Medición de grosor de planta de tomate.**

### 6.10.3. Verdor de las hojas

Se midió el verdor de las hojas mediante un medidor de clorofila SPAD 502® (Spectrum Technologies, Inc.), donde se le tomó dato a la segunda hoja joven más desarrollada de la planta. Esta medición se realizó una vez por semana durante cuatro meses (Figura 11).



**Figura 11. Medición del nivel de clorofila de las hojas de tomate.**

#### 6.10.4. Longitud del fruto

Una vez que inició la etapa fructificación, se fueron cosechando los frutos de todas las plantas evaluadas, midiendo distintos parámetros de calidad de fruto. La longitud de fruto se midió utilizando un flexómetro (Truper®, México) midiendo el fruto de un extremo al otro (Figura 12).



Figura 12. Medición de longitud del fruto.

#### 6.10.5. Calibre del fruto

Se evaluó el calibre de los frutos midiendo su diámetro ecuatorial, utilizando un vernier digital (Truper®, México) (Figura 13).

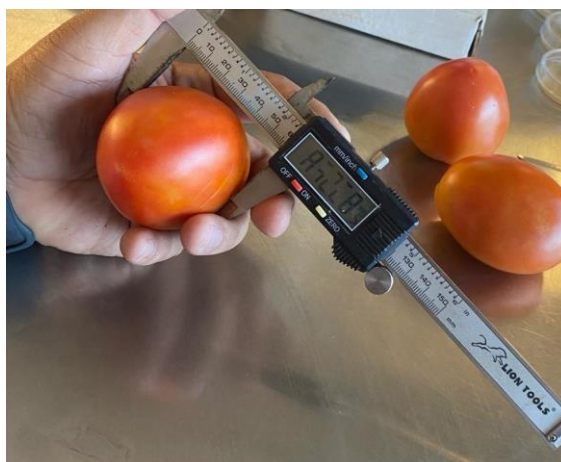


Figura 13. Medición de calibre del fruto.

#### 6.10.6. Peso individual del fruto

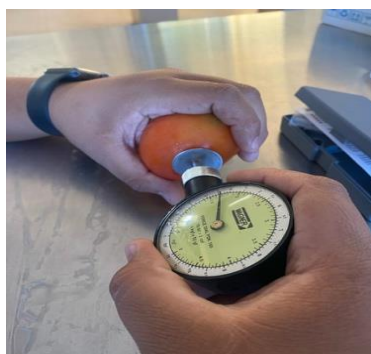
De manera individual, se pesaron todos los frutos producidos por medio de una balanza electrónica (Figura 14).



**Figura 14. Medición de peso individual del fruto.**

#### 6.10.7. Firmeza del fruto

Se midió la firmeza de los frutos de tomate con un penetrómetro (Wagner® FDK Force Gage); se realizaron tres mediciones por fruto, en donde se utilizó una navaja para retirar la pared más gruesa del fruto, realizando estos cortes en tres puntos distribuidos de manera aleatoria en el fruto para posteriormente tomar la medida con el penetrómetro en cada punto (Figura 15).



**Figura 15. Medición de firmeza del fruto.**



### 6.10.8. Contenido de sólidos solubles en el fruto

Para determinar el contenido de sólidos solubles de los frutos de tomate, se utilizó un refractómetro de precisión, aplicando el método destructivo de los frutos de tomate. Para ello se tomó una muestra cortando trozos del fruto y exprimiéndolos en el refractómetro procurando cubrir totalmente la superficie de medida con el jugo de tomate. Posteriormente se limpió con agua destilada entre medidas para evitar distorsión (Figura 16).



Figura 16. Contenido de sólidos solubles (°Brix)

### 6.10.9. Contenido nutricional de la planta

Adicionalmente, se realizó un análisis foliar de macronutrientes (N, P, K, Mg y Ca) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Na y Cu) (AOAC, 1999); el P total, según el método de Allen *et al.* (1997); el K, mediante extracción con acetato de amonio por fotometría de llama; y el Ca y Mg se midieron mediante determinación colorimétrica en un espectrofotómetro de absorción atómica (Varian SpectrAA 220) (Figura 17). Los micronutrientes Fe, Mn, Zn, Na y Cu fueron evaluados por absorción atómica, previa digestión con una mezcla HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub> en proporción 2:1 (AOAC, 1990).



Figura 17. Espectrofotómetro de absorción atómica

#### 6.10.10. Volumen radical y peso de biomasa de planta

Al finalizar los muestreos de concentración de nutrientes, se midió el volumen radical, peso húmedo y seco de biomasa aérea de la planta por medio de un muestreo destructivo (Figura 18).



Figura 18. Medición de volumen radical, peso húmedo y seco de biomasa aérea de la planta.

#### 6.10.11. Análisis de datos

Para comparar los cuatro tratamientos se aplicó la prueba t de Student para la comparación de medias independientes. Por otra parte, para analizar la concentración de nutrientes por órganos de la planta se realizó un análisis de la varianza. Previamente, al tratarse de ANOVA paramétrico se comprobaron las asunciones de normalidad y homocedasticidad. El método empleado para la comparación de las medias fue Duncan al 95 % de confianza. En el caso de la evaluación del rendimiento, no se tuvo homocedasticidad de las varianzas y se recurrió a la prueba de Kruskal-Wallis y la comparación de medias de Dunn al 95% de confianza. En la evolución de los rendimientos, peso del fruto y número de frutos por planta, se aplicó un análisis de regresión curvilínea mediante la ecuación del modelo de regresión no lineal polinomial de segundo orden  $Y = a + bX + bX^2$ .

Donde:

Y = rendimiento

a = punto de origen de la línea de regresión

b = valor de la pendiente de la curva

X = tiempo (en meses)

Para procesar los análisis se utilizó el paquete estadístico XLSTAT (Addinsoft, 2023).

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

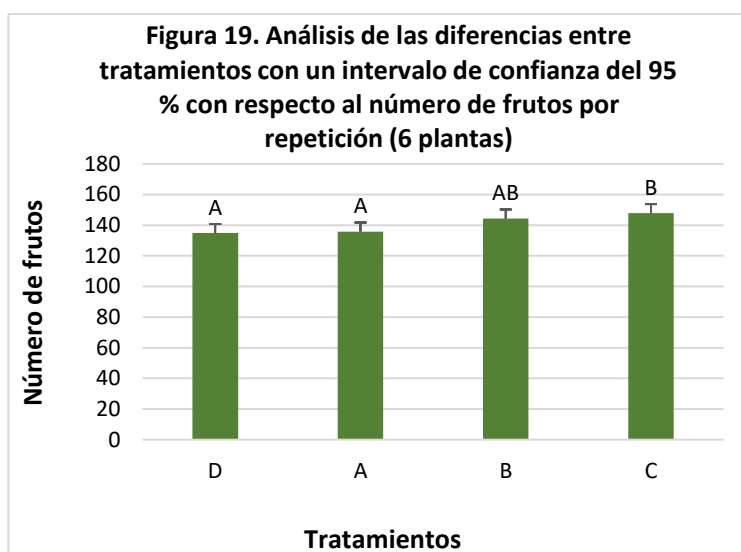
### 7.1. Resultados

#### 7.1.1. Producción de tomate

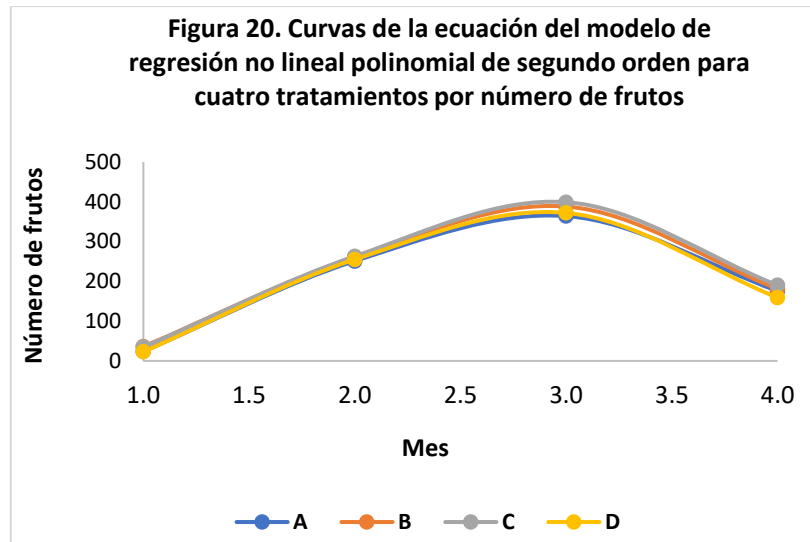
La evaluación de la producción de tomate en los tratamientos se realizó sobre la base del número de frutos, el peso de los mismos y el rendimiento.

##### 7.1.1.1. Número de frutos

El tratamiento donde ocurrió el mayor número de frutos fue en el C con 148 frutos por planta, como se muestra en la Figura 19, mientras que el tratamiento con menor cantidad de frutos fueron los tratamientos D y A con 135 y 136 frutos respectivamente.



La planta produce una cantidad variable de frutos en distintas etapas de fructificación. El número incrementa gradualmente, teniendo su máximo al tercer mes, para después caer bruscamente, como se puede observar en la Figura 20. Donde también se observa que este comportamiento es similar en los cuatro tratamientos, por lo que se infiere que está determinado por las características genéticas del cultivo de tomate.



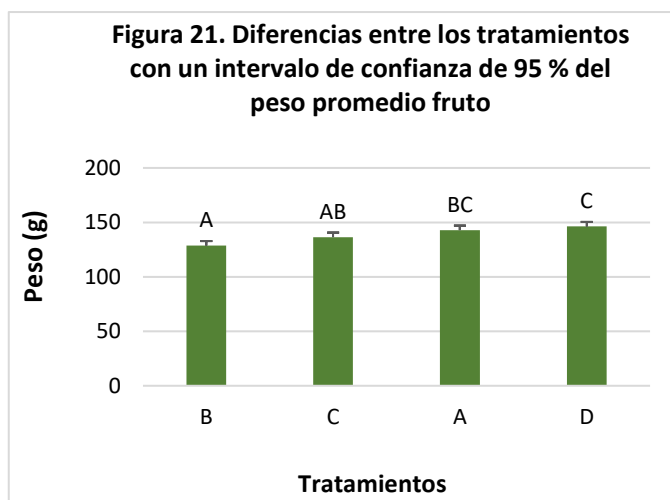
En el Cuadro 6, se muestra las ecuaciones del modelo de regresión no lineal que indican la tendencia en el tiempo medido en mes, de la producción de frutos en cada tratamiento, destacando que el tratamiento D tendría mayor cantidad de frutos en la etapa inicial con una tendencia de  $606.35$  al mes, pero también tendría la menor producción de frutos en la etapa final del desarrollo de la planta con una tendencia de  $-109.25 \text{mes}^2$ . También se destaca que el Tratamiento C tendría la mayor producción de frutos a los 2.5 meses de desarrollo de la planta.

**Cuadro 6. Ecuación del modelo de regresión no lineal polinomial de segundo orden para los cuatro tratamientos por número de frutos**

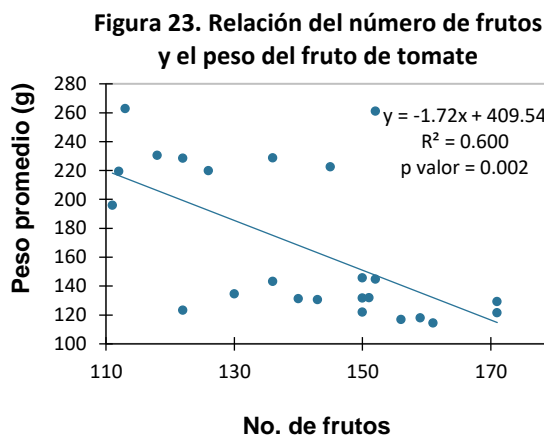
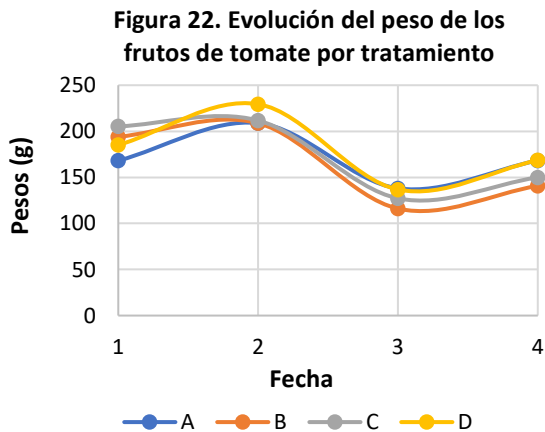
Ecuación	Predicción de Y	
	X = 1.5	X = 2.5
A = $-457.25+575.65 \cdot \text{Mes}-103.75 \cdot \text{Mes}^2$	173	748
B = $-464+596.2 \cdot \text{Mes}-108 \cdot \text{Mes}^2$	187	783
C = $-474.75+606.35 \cdot \text{Mes}-109.25 \cdot \text{Mes}^2$	189	795
D = $-485.25+608.75 \cdot \text{Mes}-111.25 \cdot \text{Mes}^2$	178	786

### 7.1.2. Peso del fruto

En la Figura 21, se muestra que el tratamiento D fue el que desarrolló los frutos de mayor peso, con un promedio de 146.2 g, mientras que el tratamiento con los frutos más livianos fue el tratamiento B, con un peso promedio de 124.6 g.

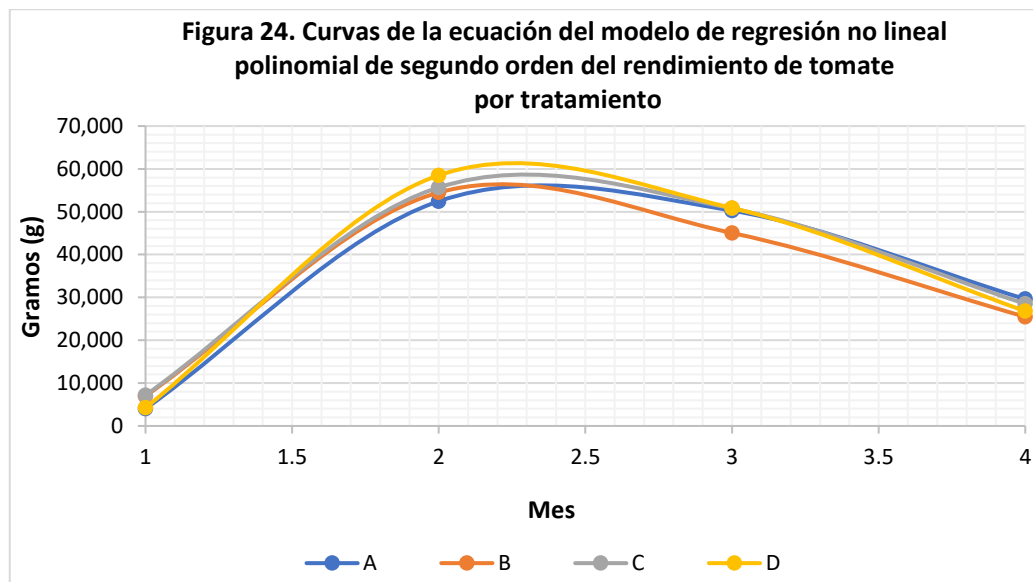


Por otra parte, en la primera etapa del desarrollo de la planta, el peso del fruto tiene una tendencia a incrementarse, para posteriormente tener un decremento y nuevamente un incremento (Figura 22). Las primeras etapas pueden considerarse parte del fortalecimiento de la planta, mientras que el último incremento del peso, puede estar relacionado con la disminución del número de frutos. Pues al haber menos frutos, estos adquieren mayor peso. Esto se refuerza con la Figura 23, pues, por cada fruto que se incrementa en la planta, el peso del fruto disminuye en 17.72 g.



### 7.1.3. Rendimiento

Aunque el mayor número de frutos se tiene en el mes tres, los mayores rendimientos de obtienen un poco antes, como se puede observar en la Figura 24. Esta tendencia se manifiesta en los cuatro tratamientos, aunque la producción fue menor en el tratamiento A en la segunda etapa de la producción.

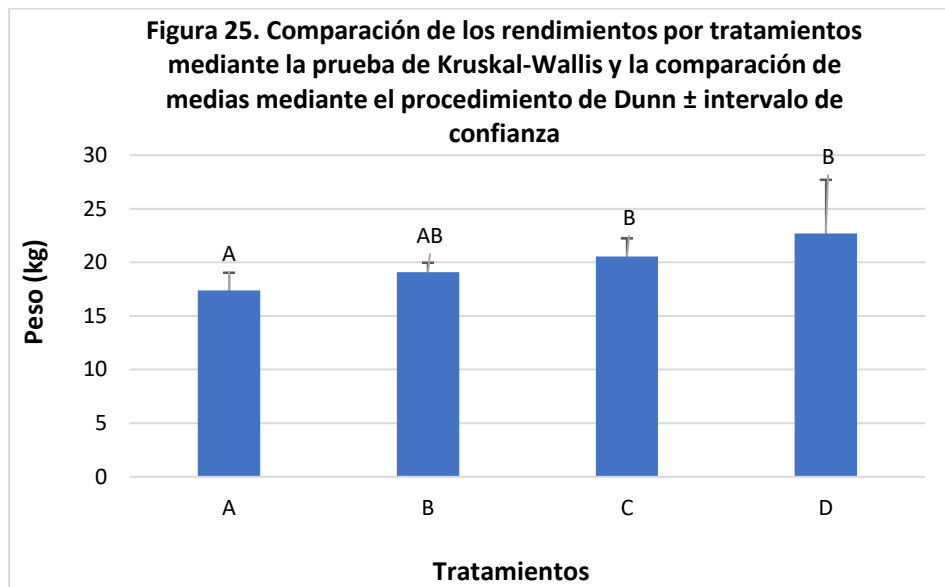


Con base en lo anterior, en el Cuadro 7, se proyecta la producción esperada en el que se manifiesta que los rendimientos más altos a los al 1.5 y 2.5 meses se tendrían los rendimientos más altos en el tratamiento D.

**Cuadro 7. Ecuación del modelo de regresión no lineal polinomial de segundo orden para los cuatro tratamientos por rendimiento**

Ecuación	Predicción de Y	
	X = 1.5	X = 2.5
A = -70861.6+93767.4*Mes-17262*Mes^2	30 949.9	124 717.2
B = -62350.5+88445.7*Mes-16768.5*Mes^2	32 588.9	121 034.6
C = -67679.3+94358.7*Mes-17691.1*Mes^2	32 588.9	12 034.6
D = -77803.4+103915*Mes-19582.8*Mes^2	34 007.5	137 922.2

En cuanto a los rendimientos totales, los más altos se obtuvieron en los tratamientos C y D, con 20.54 y 22.71 kg respectivamente (Figura 25).



Estos resultados son influidos están en concordancia con el mayor volumen de la raíz, desarrollada en los tratamientos C y D. Esto significa que, al tener mayor crecimiento radicular, las plantas tienen mayor posibilidad de absorber agua y nutrientes que fortalezcan el funcionamiento de las plantas de tomate.

#### 7.1.4. Peso de órganos de la planta

En el Cuadro 8 se muestra el resumen del peso de hoja tallo y raíz por tratamiento. Con respecto a los dos primeros, se observa que no hay diferencia estadística significativa entre ellos. Pero en peso seco de la raíz y volumen de la misma, en los valores C y D. Esto es una condición favorable para la mejor absorción de agua y nutrientes. Lo que a su vez se reflejó en el mayor rendimiento de frutos.



**Cuadro 8. Resumen de medias del peso de órganos de la planta de tomate por tratamiento**

Categoría	Peso seco Hoja (g)	Peso seco Tallo (g)	Peso seco Raíz (g)	Volumen Radical (ml)
C	197.50 a	153.33 a	66.67 ab	58.83 b
D	190.83 a	148.33 a	74.17 b	58.33 b
B	200.00 a	136.67 a	65.00 a	49.83 a
A	186.67 a	152.50 a	65.83 ab	48.17 a
Pr > F(Modelo)	0.92	0.61	0.09	0.00
Significativo	No	No	No	Sí
Pr > F(Tratamiento)	0.92	0.61	0.09	0.00
Significativo	No	No	No	Sí

### 7.1.5. Concentración de °Brix

En cuanto la concentración de sólidos solubles, medidos en °Brix en el fruto, se observó que los tratamientos C y D tuvieron similares concentraciones de sólidos solubles en el fruto. En cambio, el tratamiento A, fue donde ocurrió la menor concentración de sólidos de °Brix (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Concentración de sólidos solubles (°Brix) por tratamiento en frutos de tomate por mes**

Tratamiento	ene	feb	mar	abr	Total general
C	4.7 b	4.3 b	4.2 a	4.3 b	4.29 b
D	4.1 b	4.1 b	4.2 a	4.3 b	4.19 b
B	4.6 ab	4.1 b	4.2 a	4.1 ab	4.17 ab
A	4.0 a	3.9 a	4.2 a	4.0 a	4.05 a
Pr > F (Tratamiento)	0.009	0.00	0.61	0.010	0.001
Significativo	Sí	Sí	No	Sí	Sí

### 7.1.6. Firmeza del fruto

En cuanto a la firmeza de los frutos de los tratamientos se observó que la firmeza general de fruto se tuvo en el tratamiento C con 1.492 kg/cm<sup>2</sup>, ocurrió en el tratamiento A (Cuadro 10).

**Cuadro 10. Firmeza de tomate por tratamiento (en kg/cm<sup>2</sup>) mediante la prueba de Duncan**

Categoría	ene	feb	mar	abr	Total general
C	1.44 a	1.66 b	1.52 ab	1.15 a	1.49 b
D	1.43 a	1.61 ab	1.55 b	1.15 a	1.49 ab
B	1.44 a	1.61 ab	1.47 a	1.14 a	1.45 ab
A	1.36 a	1.56 a	1.51 ab	1.12 a	1.44 a
Pr > F(Modelo)	0.044	0.06	0.35	0.10	0.13
Significativo	Sí	No	No	No	No
Pr > F(Tratamiento)	0.77	0.05	0.10	0.66	0.09
Significativo	No	No	No	No	No

### 7.1.7. Concentración de nutrientes

#### 7.1.7.1. Concentración de Ca, K y Mg en hoja y tallo de las plantas

La concentración de los macronutrientes se muestra en el Cuadro 11. En él se observa que el Ca tuvo mayor concentración en las hojas y tallos del tratamiento B, mientras que en el C se encontró la menor concentración de este nutrimento. Así mismo, la concentración de K también fue más alta en las hojas del tratamiento B, mientras que en el tratamiento A, la concentración de este elemento fue más alta en tallo. Con respecto al magnesio no se tuvo diferencia estadística significativa entre los tratamientos, tanto en hoja como el tallo.

**Cuadro 11. Comparación de la concentración de Ca, K y Mg por tratamiento. Las letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos aplicando la prueba Duncan**

Categoría	Ca (mg/L) Hoja	Ca (mg/L) Tallo	K (mg/L) Hoja	K (mg/L) Tallo	Mg (mg/L) Hoja	Mg (mg/L) Tallo
B	9.33 b	3.47 c	3.64 b	2.34 a	0.924 a	0.552 a
A	8.26 ab	2.75 bc	2.22 a	3.34 b	0.900 a	0.611 a
D	8.85 ab	2.36 ab	2.27 a	2.81 ab	0.880 a	0.418 a
C	7.04 a	1.58 a	2.21 a	2.45 a	0.788 a	0.479 a
Pr > F(Modelo)	0.28	0.065	0.001	0.20	0.29	0.47
Significativo	No	No	Sí	No	No	No
Pr > F(Tratamiento)	0.128	0.008	<0.0001	0.051	0.593	0.534
Significativo	No	Sí	Sí	No	No	No

### 7.1.7.2. Concentración de fósforo y nitrógeno en hoja y tallo de plantas de tomate

La concentración más alta de fósforo y nitrógeno en hoja y tallo de tomate ocurrió en el tratamiento C, seguido del tratamiento D, mientras que el tratamiento A fue el más bajo en todas las comparaciones (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Comparación de la concentración de fósforo y nitrógeno por tratamiento. Letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos aplicando la prueba Duncan**

Categoría	P (mg/L) Hoja	P (mg/L) Tallo	N (mg/L) Hoja	N (mg/L) Tallo
C	0.19 b	0.19 b	4.46 b	3.35 b
D	0.14 ab	0.15 ab	3.97 ab	2.90 a
B	0.13 a	0.16 ab	3.57 a	2.74 a
A	0.08 a	0.13 a	3.55 a	2.59 a
Pr > F(Modelo)	0.057	0.158	0.061	0.018
Significativo	No	No	No	Sí
Pr > F(Tratamineto)	0.007	0.100	0.012	0.005
Significativo	Sí	No	Sí	Sí

### 7.1.7.3. Microelementos

Concentración de Fe en la hoja fue más alta en el tratamiento D, con 19.8 PPM, mientras que el tratamiento A, tuvo las concentraciones más bajas, como se puede observar en el cuadro 33333. En el mismo cuadro se observa que en la concentración de Fe no hubo diferencia significativa entre los tratamientos, aunque hay que señalar que en los tratamientos A y B, la concentración de este elemento fe inapreciable.

Con respecto a la concentración de Zn, no ocurrió diferencia estadística entre los tratamientos, pero sí se observa una diferencia marcada en la concentración de este elemento entre tallo y hoja, siendo mucho mayor en la primera, (Cuadro 13).

Se observa que la concentración de Mn en hoja fue más alta en la hoja en los

tratamientos B y A, con 667.8 y 503.8 PPM respectivamente. Lo mismo ocurre en tallo con 88.2 y 74.8 PPM respectivamente. En el mismo cuadro se muestra que en todos los tratamientos la concentración de Mn fue mucho mayor en la Hoja que en el tallo.

**Cuadro 13. Concentración de micronutrientes en hoja y tallo de tomate por tratamiento (en PPM) mediante la prueba de Duncan**

Categoría	Fe Hoja	Fe Tallo	Zn Hoja	Zn Tallo	Mn Hoja	Mn Tallo
B	8.27 ab	0.00 a	28.06 a	4.97 a	667.83 b	88.25 b
A	4.21 a	0.00 a	25.18 a	4.11 a	503.79 ab	74.78 b
C	9.41 ab	9.76 a	12.75 a	2.68 a	432.25 a	42.35 a
D	19.80 b	7.86 a	14.32 a	1.11 a	442.50 ab	40.03 a
Pr > F(Modelo)	0.270	0.618	0.417	0.357	0.097	0.012
Significativo	No	No	No	No	No	Sí
Pr > F(Tratamiento)	0.098	0.327	0.458	0.652	0.119	0.009
Significativo	No	No	No	No	No	Sí

## 7.2. Discusión de resultados

El mayor volumen de la raíz obtenido en los tratamientos C y D muestran que la vermicomposta y la acción de los HMA generaron condiciones para ello. Por un lado, los hongos actuaron en simbiosis con la planta provocando que la raíz aumentara en volumen. Con respecto a la concentración de nitrógeno y fósforo, donde la concentración fue mayor en el tratamiento con HMA y vermicomposta, la explicación puede estar en lo planteado por Matos *et al.* (2022) quienes señalan que al aplicar vermicomposta, muchos nutrientes son cambiados a formas más asimilables para las plantas. Así mismo, Ratnasari, *et al.* (2023) señalan que la vermicomposta satisface la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos.

Esto a su vez favoreció para que las plantas pudieran absorber mayor cantidad de agua y nutrientes. Por otra parte, la incorporación de la composta mejora la estructura del suelo, lo cual permite que la raíz tenga mejores condiciones para el incremento de su volumen al ejercer menor presión sobre esta. Al respecto, Sun y Shahrajabian (2023), indican que los HMA contribuyen en el aumento del tamaño y modifica la

arquitectura de la raíz, con ello, la planta puede absorber agua y nutrientes en mayor cantidad, especialmente cuando se tiene poca disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, la correlación negativa entre el peso y el número de frutos, puede estar asociado a la competencia por nutrientes que entre los frutos de la planta. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Quispe-Choque y Huanca-Alanoca (2023) quienes evaluaron diferentes variables relacionadas con el rendimiento de variedades de tomate.

Al tenerse mayor volumen radicular, se incrementa el área sobre la cual se puede extraer agua y nutrientes. Esta situación favoreció para que se tuviera mayor concentración de N, P y Fe en tallo y hojas de las plantas de los tratamientos C y D. Al respecto, Truong y Wang (2015) al evaluaron el efecto de la vermicomposta en la calidad y el crecimiento de dos variedades de tomate concluyeron que la aplicación de vermicomposta favoreció el incremento de N, K, Ca, Mg, aunque no afectó los contenidos de fósforo P, Fe y Zn.

En algunas variables el tratamiento C (vermicomposta + HMA) fue mejor. Al respecto, Khzari *et al.* (2015), encontraron que conforme se incrementa la concentración de vermicomposta, una relación positiva entre la concentración de vermicomposta con el crecimiento radicular, el peso seco, contenido de K, N, área foliar, así como el aumento de la capacidad de retención de agua del suelo. Por su parte, con la aplicación de HMA se incrementó el peso seco de brotes y raíces, el contenido de K y el área foliar. Estos nutrientes tienen movimiento dentro de las plantas, pasando del tallo y las hojas al fruto conforme estas van envejeciendo. Esta situación pudo haber favorecido para que los tratamientos C y D tuvieran los rendimientos más altos, ya que, de acuerdo con Annabi *et al.* (2019), la concentración de nutrientes en tallo y hojas favorece una eficiencia fotosintética. Destacando que el nivel de eficiencia dependerá de la especie y de las condiciones medioambientales en la que se encuentre dicha especie (Darshini *et al.*, 2022). Además, se debe considerar que el efecto de la vermicomposta en el desarrollo de las plantas puede ser influido por el proceso de elaboración de dicha composta (Eneve y Eerasmus, 2023)

El tratamiento con vermicomposta (tuvo mejor comportamiento que el tratamiento B (con HMA + solución Steiner) y que el tratamiento A (solo solución Steiner). Esto significa que la simbiosis entre los hongos micorrízicos y las plantas sí tuvo resultados positivos. Aunque la diferencia es pequeña. El hecho de que no se haya manifestado mejor el potencial de dicha simbiosis puede ser debido a que la inoculación de HMA estuvo acompañada de la fertilización química convencional, la cual pudo haber inhibido la acción de los hongos micorrízicos. Puesto que, de acuerdo con Mbutia *et al.* (2015) al incrementar la concentración de nitrógeno mediante la aplicación de fertilizante, disminuye la cantidad de hongos micorrízicos. Además, los microorganismos introducidos, pueden desplazar a los HMA nativos (Pellegrino *et al.*, 2012). Otra variable que se debe considerar, es la etapa de desarrollo del cultivo, pues Cabrera-Romero *et al.* (2019) encontraron que la mejor etapa de inoculación de los HMA es tomate es en el semillero y en el trasplante.

Al respecto Manh y Wang (2014) encontraron que la vermicomposta, aumentó la altura de la planta, el área foliar, la biomasa y la concentración de P, K, Ca y Fe en plantas de melón. Los autores consideran que el aumento en el crecimiento de las plántulas de melón puede ser causados por el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del sustrato cuando se combina con la vermicomposta. Así mismo, Ma *et al.* (2021) al evaluar la modificación de la biodiversidad los HMA en la raíz de trigo (*Triticum aestivum*) encontraron la aplicación de N, P y K a largo plazo disminuyó la diversidad alfa de HMA en la rizósfera. Lo anterior significa que la combinación de fertilización química y la aplicación de HMA no generan sinergia entre ambos procedimientos, aunque en el caso de la presente investigación, los hongos micorrízicos realizaron una aportación limitada por la acción de los fertilizantes químicos. Por otra parte, es probable que los beneficios de la aplicación de los HMA en el predio, también se observen al siguiente año, pues, de acuerdo con Pellegrino *et al.* (2012), la introducción de HMA actúa en simbiosis con el cultivo, estimulando el desarrollo de este por dos años.

## VIII. CONCLUSIONES

El uso de vermicomposta y de hongos micorrízicos arbusculares son una alternativa para mejorar la calidad y rendimiento en frutos de tomate. Se presentaron diferencias entre los tratamientos con micorrizas y vermicomposta principalmente en el calibre de tomate, teniéndose los valores más altos de calibre, firmeza y rendimiento de fruto. Además, con la aplicación de fertilizantes, micorrizas y vermicomposta aumentó la concentración de K, Ca y Mg en el tallo, hojas y frutos, al igual que mejoró la absorción de elementos poco móviles en la planta como el potasio y el calcio, lo que contribuyó en el aumento de la firmeza y rendimiento de los frutos.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, L.K., Macdonald, L.M., Wong, M.T.F., Webb, M.J., Jenkins, S.N., Farrell, M. (2018). Potential roles of biological amendments for profitable grain production – a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 256, 34-50. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.021>.
- Addinsoft. (2023). XLSTAT statistical and data analysis solution. New York. USA. <https://www.xlstat.com/es>
- Annabi, K., Laaribi, I., Gouta, H., Laabidi, F., Mechri, B., Ajmi, L., Zouari, I., Muscolo, A., Panuccio, M.R., y Aïachi Mezghani, M. (2019). Protein content, antioxidant activity, carbohydrates and photosynthesis in leaves of girdled stems of four olive cultivars. *Sci. Hort.* 256, 108551. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108551>.
- Arias-Mota, R. M., Romero-Fernández, A. de J., Bañuelos-rejo, J., y De la Cruz-Elizondo, Y. (2019). Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1747-1757. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1558>.
- Basiru, S., y Hijri, M. (2022). The Potential Applications of Commercial Arbuscular Mycorrhizal Fungal Inoculants and Their Ecological Consequences. *Microorganisms*, 10(10), 1-22. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10101897>.
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., y Bianciotto, V. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. *Front. Microbiol.* 6, 1559, doi: 10.3389/fmicb.2015.01559.



- Betancourt-Tituaña, H. F. (2020). Sinergismo entre hongos micorrícicos y *Trichoderma harzianum* en el control del nematodo *Nacobbus aberrans* en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de maestría. Universidad Nacional de la Plata. Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/101157>.
- Cabrera Romero, Y., L., Miranda Izquierdo, E., Santana Baños, Y. (2016). Efectividad y momentos de aplicación del biofertilizante EcoMicâ en la producción de *Solanum lycopersicum* L. var. Mamonal 21. *Avances*. 18(1) 77-85.
- Carosio, M. E. (2017). *Relación de los hongos formadores de micorrizas respecto de las variables fisicoquímicas de suelos de Mendoza cultivados con tomate*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza Argentina. <https://bdigital.uncu.edu.ar/10089>.
- Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., y De los Santos Villalobos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro- biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423–1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>
- CONABIO. (2019). *Catálogo de autoridades taxonómicas de especies de flora y fauna con distribución en México. Base de datos SNIB-CONABIO, México*.
- Darshini S., Raju S., y Arul K. M. (2022). Accumulation and translocation of trace elements and macronutrients in different plant species across five study sites, *Ecological Indicators*, V 135, 108522, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108522>.

- Devi, C. y Khwairakpam, M. (2021). Management of invasive weed *Parthenium hysterophorus* through vermicomposting using a polyculture of *Eisenia fetida* and *Eudrilus eugeniae*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28, 29710–29719. doi: 10.1007/s11356-021-12720-4.
- Eneve, M.C. y Erasmus M. (2023). Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management* 345 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>
- FAOSTAT. (2022). Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- FIRA. Fideicomisos instituidos en relación con la Agricultura. (2016). *Panorama agroalimentario Tomate rojo. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama\\_Agroalimentario\\_Tomate\\_Rojo\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf).
- Garg, N., y Cheema, A. (2021). Relative roles of Arbuscular Mycorrhizae in establishing a correlation between soil properties, carbohydrate utilization and yield in *Cicer arietinum* L. under Asas stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, 207, 111196. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111196>.
- Godoy-Hernández, H., Castellanos-Ramos, J. Z., Alcántar-González, G., Sandoval-Villa, M., y Muñoz-Ramos, J. J. (2009). Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrientes. *Terra Latinoamericana*, 27(1), 01-09.

- Guo, J., Chen, J., Li, C., Wang, L., Liang, X., Shi, J., Zhan, F. (2023). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Promote the Degradation of the Fore-Rotating Crop (*Brassica napus* L.) Straw, Improve the Growth of and Reduce the Cadmium and Lead Content in the Subsequent Maize. *Agronomy*, 13, 767. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030767>.
- Ho-Plágaro, T. (2018). *Analysis and functional characterization of two tomato genes involved in the mycorrhization process*. Tesis doctoral. Programa de doctorado en biología fundamental en sistemas. Universidad de Granada, España. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/52451>.
- Igiehon, N. O., y Babalola, O. O. (2017). Biofertilizers and sustainable agriculture: exploring arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied microbiology and biotechnology*, 101(12), 4871-4881. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8344-z>
- Khzari, D., Attaeian, B., Arami, A., Mahmoodi, F., y Aslani, F. (2015). Effects of Vermicompost and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Properties and Growth of *Medicago polymorpha* L. *Compost Science & Utilization*, 23(3), 142–153. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2015.1013585>.
- Kuila, D., y Ghosh, S. (2022). Aspects, problems and utilization of Arbuscular Mycorrhizal (AM) application as bio-fertilizer in sustainable agriculture. *Current Research in Microbial Sciences* 3 100107 1-11, <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100107>.
- Kumar, S, Diksha, Sindhu, S. S., Kumar R. (2022). Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability, *Current Research in Microbial Sciences*. V 3. 100094, <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>.

- Lara-Herrera A. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 221-229.
- Ma, Y., Zhang, H., Wang, D., Guo, X., Yang, T., Xiang, X., Walder, F., y Chu, H. (2021). Differential Responses of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities to Long-Term Fertilization in the Wheat Rhizosphere and Root Endosphere. *Applied and environmental microbiology*, 87(17), e0034921. <https://doi.org/10.1128/AEM.00349-21>.
- Manh, V. H., y Wang, C. H. (2014). Vermicompost as an important component in substrate: effects on seedling quality and growth of muskmelon (*Cucumis melo* L.). *APCBEE Proc.* 8, 32–40, doi: 10.1016/j.apcbee.2014.01.076.
- Matos, P. S., Silva, C. F., Damian, J. M., Cerri, C. E. P., Pereira, M. G., y Zonta, E. (2022). Beneficial services of Glomalin and Arbuscular Mycorrhizal fungi in degraded soils in Brazil. *Scientia Agricola*, 79(5), e20210064, <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0064>
- Mbuthia, L.W., Mendivil-Lugo, C., Nava-Pérez, E., Armenta-Bojórquez, A. D., Ruelas-Ayala, R. D., y Félix-Herrán, J. A. (2020). Elaboración de un abono orgánico tipo bocashi y su evaluación en la germinación y crecimiento del rábano. *Biotecnia*, 22(1), 17-23. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1120>.
- Miranda-Pérez, D., Vigil-García, P. A., y Ravelo-Pimentel, K. (2021). Efecto de las micorrizas arbusculares sobre la fase inicial de crecimiento de *Zea mays* L. *Avances*, 23(3), 282-297.
- Mohite, D.D., Chavan, S.S., Jadhav, V.S. *et al.* (2024). Vermicomposting: a holistic approach for sustainable crop production, nutrient-rich bio fertilizer, and

environmental restoration. *Discov Sustain* 5(609).  
<https://doi.org/10.1007/s43621-024-00245-y>

Oehl, F., Sieverding, E. Palenzuela, J., Ineichen, K, y Alves da Silva G. (2011). Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA FUNGUS* 2(2), 191–199. <https://doi.org/10.5598/imafungus.2011.02.02.10>.

ONU (Organización Mundial de las Naciones Unidas). (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Pellegrino, E., Turrini, A., Gamper, H. A., Cafà, G., Bonari, E., Young, J. P. W., y Giovannetti. M. (2012). Establishment, persistence and effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungal inoculants in the field revealed using molecular genetic tracing and measurement of yield components. *New Phytol.* 194, 810–822. doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04090.x

Pérez-Moncada, U. A., Ramírez-Gómez, M. M., Serralde-Ordoñez, D. P., Peñaranda-Rolón, A. M., Wilches-Ortiz, W. A., Ramírez, L., y Rengifo-Estrada, G. A. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) as a strategy to reduce the absorption of cadmium in cocoa (*Theobroma cacao*) plants. *Revista terra Latinoamericana*, 37(2), 121–130. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.479>

Preciado-Rangel, P., García.Hernández, J. L., Segura-Castruita, M. A., Salas-Pérez, L., Ayala-Garay, A. V., Esparza-Rivera, J. R., y Troyo-Diéquez, E. (2014). Efecto del lixiviado de vermicomposta en la producción hidropónica de maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*. 32(4), 333-338.

Quispe-Choque, G., y Huanca-Alanoca, N. (2023). Análisis de correlación y coeficientes de sendero para componentes de rendimiento en nueve líneas experimentales de tomate. *J. Selva Andina Res. Soc.* 14(2):26-35.

- Ratnasari, A., Syafiuddin, A., Mehmood M. A., y Boopathy, R. A. (2023). Review of the vermicomposting process of organic and inorganic waste in soils: additives effects, bioconversion process, and recommendations. *Bioresource Technol Rep.* 21: 101332. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101332>.
- Reyes-Pérez, J. J., Enríquez-Acosta, E. A., Ramírez-Arrebato, M. A., Rodríguez-Pedroso, A. T., y Falcón-Rodríguez, A. (2020). Efecto de ácidos húmicos, micorrizas y quitosano en indicadores del crecimiento de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(3), 653-666. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.671>.
- Roblero-Ramírez, H. R., Nava-Pérez, E., Valenzuela-Quiñónez, W., Camacho-Báez, J. R., y Rodríguez-Quiroz, G. (2014) Evaluación de cinco dosis de vermicomposta en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en Sinaloa, México *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1495-1500.
- Sales, L.R., Silva, A.O., Sales, F.R. Rodrigues, T.L., Barbosa, M.V., Santos, J.V.D. Kemmelmeier, K., Siqueira, J.O., y Carneiro, M.A.C. (2022). *On farm* inoculation of native arbuscular mycorrhizal fungi improves efficiency in increasing sugarcane productivity in the field. *Rhizosphere*, 22, <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100539>.
- Salmerón-Santiago, I. A., Pedraza-Santos, M. E., Mendoza-Oviedo, L. S., y Chávez-Bárceñas, A. T. (2015). Cronología de la taxonomía y cladística de los glomeromicetos. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(2), 153-163.
- SIAP. (2023). Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

- Soto-Sogamoso, J. E., Pinto-Lopera, J. E., y Millán-Rojas, E. E. (2022). Micorrizas arbusculares y las técnicas de visión artificial para su identificación. *TecnoLógicas*, 25(54), e2348. <https://doi.org/10.22430/22565337.2348>.
- Sun, W., y Shahrajabian, M. H. (2023). The Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Microbial Biostimulant, Sustainable Approaches in Modern Agriculture. *Plants*, 12, 3101. <https://doi.org/10.3390/plants12173101>.
- Thirkell, T.J., Charters, M. D., Elliott, A. J., Sait, S. M., y Field, K.J. (2017). Ecological solutions to global food security: are mycorrhizal fungi our sustainable saviours? Considerations for achieving food security. *J. Ecol.* 105, 921–929. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12788>.
- Truong, H. D., y Wang, C. H. (2015). Studies on the Effects of Vermicompost on Physicochemical Properties and Growth of Two Tomato Varieties under Greenhouse Conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(12), 1494–1506. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1043450>.
- Velasco-Velasco, J., Ferrera-Cerrato, R., y Almaraz-Suárez, J. J. (2001). Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra Latinoamericana* 19(3), pp. 241-248.
- Verzeaux, J., Hirel, B., Dubois, F., Lea, P. J., y Tétu, T. (2017). Agricultural practices to improve nitrogen use efficiency through the use of arbuscular mycorrhizae: Basic and agronomic aspects. *Plant science: an international journal of experimental plant biology*, 264, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.08.004>

- Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S., Sánchez-Peña, P., Hernández-Verdugo, S., Osuna-Enciso, T., Corrales-Madrid, J. L., y Armenta-Bojórquez, A. D. (2009). Fertilización con diferentes formas de nitrógeno en el cultivo de tomate en un suelo arcilloso. *Interciencia*, 34(2), 135-139.
- Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., Khizar, C., Reddy, S.P.P. (2023). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Regulating Growth, Enhancing Productivity, and Potentially Influencing Ecosystems under Abiotic and Biotic Stresses. *Plants*. 12(17), 3102. <https://doi.org/10.3390/plants12173102>.
- Wang, X.X., Zhao, F.Y., Zhang, G.X., Zhang, Y.Q., y Yang, L.J. (2017). Vermicompost improves tomato yield and quality and the biochemical properties of soils with different tomato planting history in a greenhouse study. *Front. Plant Sci.* 8, 1978-1988. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01978>.
- Wu, D., Chen, C., Liu, Y., Zhang, G., y Yang, L. (2023). Vermicompost Improves Tomato Yield and Quality by Promoting Carbohydrate Transport to Fruit under Salt Stress. *Horticulturae*. 9, 1015. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9091015>.
- Zhao, F.Y., Zhang, Y.Y., Dong, W.G., Zhang, Y.Q., Zhang, G.X., Sun, Z.P., y Yang, L.J. (2019). Vermicompost can suppress *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* via generation of beneficial bacteria in a long-term tomato monoculture soil. *Plant Soil*, 440, 491–505. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04104-y>.