



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL SISTEMA CONVENCIONAL
Y ORGÁNICO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD,
MICROBIOMA DE LA RIZOSFERA Y RENTABILIDAD DEL
CULTIVO DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN
INVERNADERO.**

JENNIFER RENDÓN OLIVERA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL**

COMITÉ TUTORAL:

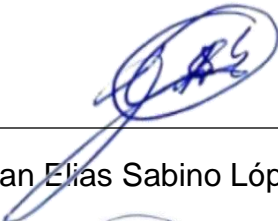
DIRECTOR: DR. JUAN ELIAS SABINO LÓPEZ
CODIRECTORA: DRA. MIRNA VÁZQUEZ VILLAMAR
ASESORES: DRA. MARIANA ESPINOSA RODRÍGUEZ
DR. PAUL GARCÍA ESCAMILLA
MC. ROMUALDO VÁSQUEZ ORTIZ

IGUALA DE LA INDEPENDENCIA, GUERRERO. DICIEMBRE DE 2022.

LA PRESENTE TESIS TITULADA: **ESTUDIO COMPARATIVO DEL SISTEMA CONVENCIONAL Y ORGÁNICO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD, MICROBIOMA DE LA RIZOSFERA Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN INVERNADERO**, REALIZADA POR LA ALUMNA: **JENNIFER RENDÓN OLIVERA** BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR INDICADO, QUE HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

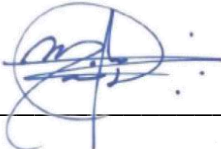
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

DIRECTOR



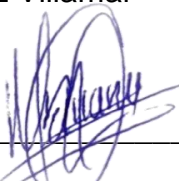
Dr. Juan Elías Sabino López

CODIRECTORA



Dra. Mirna Vázquez Villamar

ASESORA




Dra. Mariana Espinosa Rodríguez

ASESOR



Dr. Paul García Escamilla

ASESOR



MC. Romualdo Vásquez Ortiz

IGUALA DE LA INDEPENDENCIA, GUERRERO. DICIEMBRE DE 2022.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, expreso mi agradecimiento al CONACYT por el apoyo económico para la realización del presente trabajo de investigación.

Así como a la Universidad Autónoma de Guerrero y especialmente al programa de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local, por las enseñanzas y las herramientas brindadas por los profesores de la institución.

A mi familia, por el apoyo incondicional durante mis estudios de maestría, por su comprensión, paciencia y confianza en mí.

A mis amigos por compartir momentos que contribuyeron a enriquecer mi conocimiento y por los momentos divertidos que compartimos durante esta investigación.

A mis tutores: Dr. Juan Elías por el apoyo absoluto, la orientación y la dedicación a este estudio de investigación para su correcta realización; a la Dra. Mirna por el apoyo, la dedicación y contagiarme de su entusiasmo. A mis asesores Dra. Mariana, Dr. Paul, MC. Romualdo, por compartir sus conocimientos sin medida y su colaboración en la realización de este proyecto.

RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas en el mundo, considerada de alto valor económico. El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción, el microbioma de la rizosfera y la rentabilidad en el cultivo de jitomate orgánico y convencional en invernadero. Los tratamientos fueron cinco soluciones nutritivas; cuatro de fuentes orgánicas 1) lixiviado de vermicompost, 2) biol (biofermentado de estiércol de bovino), 3) biofish (fermentado de vísceras de pescado), 4) super magro (biofermentado de estiércol de bovino y aditivos minerales) y solución universal de Steiner (1984) con composta (testigo positivo) y arena (testigo negativo). Se evaluó el rendimiento (peso de frutos por planta y por m², número de frutos y racimos por planta) calidad (tamaño: diámetro polar y ecuatorial; firmeza, sólidos solubles totales, pH) contenido de NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺) en fruto; e índice de verdor (lecturas SPAD) en hojas y NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺ en extracto celular de pecíolos. El mayor peso de frutos por planta y m², número de frutos, racimos por planta, diámetro polar y ecuatorial, pH y concentración K⁺ en extracto celular de pecíolo, se tuvo con solución nutritiva de Steiner y composta, superando hasta en 64.6 y 64.5 % el rendimiento por planta y m² respecto a las soluciones orgánicas. Las soluciones orgánicas aumentaron el K⁺ y Ca²⁺ en fruto y de NO₃⁻ y Ca²⁺ en extracto de pecíolo. Las soluciones orgánicas con biol y biofish fueron las que más se aproximaron al rendimiento y calidad de frutos obtenidos con el sistema convencional. Por otra parte, se extrajeron cuatro muestras del sustrato de cada tratamiento en tres etapas (antes de tratamientos, después de tratamientos en etapa de floración y fructificación del cultivo), se extrajo ADN y se secuenció mediante análisis del gen ARN16S. Se observó un efecto positivo sobre la riqueza y diversidad bacteriana en el sustrato por el efecto de las soluciones orgánicas en la etapa de floración del cultivo. Cada solución orgánica influyó distintamente en la diversidad y porcentaje de bacterias presentes a nivel; género (*Chryseolinea*, *MND1*, *CCD24* y *Pseudomonas*), familia (*Microscillaceae*, *Nitrosomonadaceae*, *Gemmatimonadaceae* y *CCD24*) y orden (*Cytophagales*, *Burkholderiales*, *Rhizobiales* *Vicinamibacterales* y *Gemmatimonadales*). Para la rentabilidad

económica de los sistemas de producción de jitomate orgánico y convencional, se realizó un cuestionario a ocho productores convencionales en Chilapa de Álvarez, Guerrero. Se determinaron los gastos de inversión: ventas, costos fijos, costos variables y costos totales proyectados a cinco años, se midieron indicadores de rentabilidad (VAN, TIR, RB/C) tanto de los productores como de los sistemas con soluciones nutritivas orgánicas y convencional evaluadas en invernadero. El mayor VAN (\$1,573,395.29) se obtuvo con la producción solución Steiner en composta. La mayor TIR (20.59%) y R B/C (1.09) se tuvo con la solución de Steiner más arena. El mejor rendimiento por planta (8 kg) se tiene con el productor convencional. Mayores costos de producción se tuvieron con el sistema de producción orgánico, aunque, todos los sistemas de producción muestran indicadores de rentabilidad favorable. Estos valores pueden ser usados como referencia por productores de la región para la elección de la producción más viable según sus necesidades y preferencias.

ABSTRACT

The tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most cultivated and consumed vegetables in the world, considered of high economic value. The objective of this research was to evaluate the production, the microbiome of the rhizosphere and the profitability of organic and conventional tomato cultivation in greenhouses. The treatments were five nutritive solutions; four from organic sources 1) leachate from vermicompost, 2) biol (biofermented from bovine manure), 3) biofish (fermented from fish entrails), 4) super lean (biofermented from bovine manure and mineral additives) and universal solution of Steiner (1984) with compost (positive control) and sand (negative control). Yield (weight of fruits per plant and per m², number of fruits and clusters per plant) quality (size: polar and equatorial diameter; firmness, total soluble solids, pH) content of NO₃⁻, K⁺ and Ca²⁺ in fruit was evaluated. ; and greenness index (SPAD readings) in leaves and NO₃⁻, K⁺ and Ca²⁺ in petiole cell extract. The highest weight of fruits per plant and m², number of fruits, clusters per plant, polar and equatorial diameter, pH and K⁺ concentration in petiole cell extract, was obtained with Steiner's nutrient solution and compost, exceeding up to 64.6 and 64.5 % yield per plant and m² with respect to organic solutions. The organic solutions increased K⁺ and Ca²⁺ in fruit and NO₃⁻ and Ca²⁺ in petiole extract. The organic solutions with biol and biofish were the ones that came closest to the yield and quality of fruits obtained with the conventional system. On the other hand, four samples of the substrate were extracted from each treatment in three stages (before treatments, after treatments in the flowering and fruiting stages of the crop), DNA was extracted and sequenced by analysis of the RNA16S gene. A positive effect on the richness and bacterial diversity in the substrate was observed due to the effect of organic solutions in the flowering stage of the crop. Each organic solution had a distinct influence on the diversity and percentage of bacteria present at the level; genus (*Chryseolinea*, MND1, CCD24, and *Pseudomonas*), family (*Microscillaceae*, *Nitrosomonadaceae*, *Gemmatimonadaceae*, and CCD24), and order (*Cytophagales*, *Burkholderiales*, *Rhizobiales*, *Vicinamibacterales*, and *Gemmatimonadales*). For the economic profitability of the organic and conventional

tomato production systems, a questionnaire was applied to eight conventional producers in Chilapa de Álvarez, Guerrero. Investment expenses were determined: sales, fixed costs, variable costs and total costs projected to five years, profitability indicators (VAN, TIR, RB/C) were measured both for the producers and for the systems with organic and conventional nutrient solutions. evaluated in greenhouse. The highest VAN (\$1,573,395.29) was obtained with the production of Steiner solution in compost. The highest TIR (20.59%) and R B/C (1.09) was obtained with the Steiner solution plus sand. The best yield per plant (8 kg) is obtained with the conventional producer. Higher production costs were found with the organic production system, although all production systems show favorable profitability indicators. These values can be used as a reference by producers in the region for the choice of the most viable production according to their needs and preferences.

CONTENIDO GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT.....	iv
CONTENIDO GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. OBJETIVOS	7
4.1 Objetivo general	7
4.2 Objetivos específicos.....	7
5. HIPÓTESIS.....	7
6. PRODUCCION DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) EN INVERNADERO CON SOLUCIONES ORGÁNICAS Y CONVENCIONALES	8
6.1 RESUMEN	8
6.2 ABSTRACT	9
6.3 INTRODUCCIÓN.....	10
6.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
6.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
6.6 CONCLUSIÓN	27
6.7 LITERATURA CITADA.....	27
7. CUANTIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS DE LA RIZOSFERA DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) CON MANEJO ORGANICO EN INVERNADERO	34
7.1 RESUMEN	34
7.2 ABSTRACT	35
7.3 INTRODUCCIÓN.....	36
7.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
7.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
7.6 CONCLUSIÓN	55
7.7 LITERATURA CITADA.....	56

8. RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) ORGÁNICO Y CONVENCIONAL EN INVERNADERO.....	62
8.1 RESUMEN	62
8.2 ABSTRACT	63
8.3 INTRODUCCIÓN	64
8.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	66
8.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
8.6 CONCLUSIÓN	79
8.7 LITERATURA CITADA.....	80
9 DISCUSIÓN GENERAL.....	85
10. CONCLUSIÓN GENERAL.....	87
11. LITERATURA CITADA.....	88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades químicas de soluciones nutritivas orgánicas aplicadas en el cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	14
Cuadro 2. Calidad de frutos de jitomate cultivados con soluciones nutritivas orgánicas e inorgánicas, en invernadero.....	22
Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en jugo de frutos de jitomate cultivados con diferentes soluciones nutritivas orgánicas e inorgánicas....	24
Cuadro 4. Lecturas SPAD y concentración de iones específicos en hojas y extracto celular de peciolo (ECP) de jitomate cultivados con diferentes soluciones nutritivas orgánicas e inorgánicas.....	26
Cuadro 5. Proyección de costos de operación en pesos MXN de los sistemas de producción de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en campo e invernadero.....	72
Cuadro 6. Proyección de estado de resultados en la producción de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) cultivado en arena y composta con solución Steiner en invernadero.....	74
Cuadro 7. Proyección de estado de resultados en la producción de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) fertilizado con lixiviado y biol en invernadero	75
Cuadro 8. Proyección de estado de resultados en la producción de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) fertilizado con biofish y supermagro en invernadero.....	76
Cuadro 9. Proyección de estado de resultados en la producción convencional de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) producido en invernadero en Chilapa de Álvarez, Guerrero.....	77
Cuadro 10. Indicadores económicos VAN, TIR, RB/C para el cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en invernadero.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento de frutos de jitomate en invernadero en respuesta a las soluciones nutritivas.....	17
Figura 2. Número de frutos por planta de jitomate en invernadero en respuesta a soluciones nutritivas.....	18
Figura 3. Número de racimos de frutos de jitomate en invernadero en respuesta a soluciones nutritivas.....	19
Figura 4. Rendimiento en peso de frutos de jitomate por metro cuadrado, por efecto de la solución nutritiva.....	20
Figura 5 Densidad bacteriana de la rizosfera de plantas de jitomate en etapa de floración, cultivadas con soluciones nutritivas orgánicas.....	42
Figura 6. Densidad bacteriana de la rizosfera de plantas de jitomate en etapa de fructificación, cultivadas con soluciones nutritivas orgánicas.....	43
Figura 7. Riqueza de especies presentes en la rizosfera del cultivo de jitomate con soluciones nutritivas orgánica.....	45
Figura 8. Diversidad de especies en la rizosfera del cultivo de jitomate con soluciones nutritivas orgánica.....	46
Figura 9. Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) de las comunidades bacterianas en la rizosfera de jitomate con soluciones nutritivas orgánicas.....	48
Figura 10. Abundancia relativa de los géneros de bacterias identificados en la rizosfera de plantas de jitomate orgánico, mediante secuenciación del gen 16S DNA ribosomal.....	50
Figura 11. Abundancia relativa de las familias de bacterias identificados en la rizosfera de plantas de jitomate orgánico, mediante secuenciación del gen 16S DNA ribosomal.....	52

Figura 12. Abundancia relativa de los órdenes de bacterias identificados en la rizosfera de plantas de jitomate orgánico, mediante secuenciación del gen 16S DNA ribosomal.....54

1. INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor consumo en el mundo, China e India destacan con el 48.6 % de la superficie total cosechada y el 57.81 % de la producción mundial (FAO, 2019). México es uno de los principales productores de jitomate a nivel mundial, con una participación en el mercado internacional del 25.11%, (SAGARPA, 2017). El 99.7% de tomate mexicano se destina a Estados Unidos (SIAP, 2019). La producción de jitomate en México se realiza intensivamente en los estados de Sinaloa, Baja California y Jalisco, donde se concentran las mayores áreas de producción de jitomate bajo agricultura protegida (Infoagro, 2020). En el estado de Guerrero la producción de jitomate es de 16,427 t, con 1,209.63 ha de superficie sembrada, con un rendimiento de 21.20 t ha⁻¹ (SIAP, 2022).

Sin embargo, uno de los factores que determina su aceptación es su condición de inocuidad durante y después del proceso de producción (Ocaña-de Jesús *et al.*, 2015). En la búsqueda de incrementar el rendimiento de los cultivos los productores usan altas dosis de fertilización, ya que los cultivos en su mayoría son demandantes de fertilizantes (Naqqash *et al.*, 2016). No obstante, sus efectos negativos han generado gran preocupación para la producción agrícola, por lo que se ha optado por alternativas para reducir el uso de fertilizantes sintéticos, apostando por nuevos sistemas de producción sustentable que implican el uso de biofertilizantes a partir de fuentes orgánicas como las compostas, fertilizantes líquidos a partir de biofermentados, lixiviados, caldos minerales, consorcios bacterianos y microorganismos benéficos (Moreno *et al.*, 2018). Estos microorganismos presentes en la rizosfera promueven el desarrollo, crecimiento y funcionamiento de procesos vitales para las plantas, así como la protección contra agentes fitopatógenos, siendo indispensables en el proceso de composteo de los abonos orgánicos (Morocho y Leiva, 2019). Los biofertilizantes son fertilizantes líquidos biofermentados que contienen microorganismos vivos que al ser aplicados en semillas, superficie vegetal o suelo colonizan la rizosfera o interior de la planta y promueven el

crecimiento a través del incremento en el suplemento o disponibilidad de nutrimentos por el hospedero vegetal (Virgen, 2013). Estos microorganismos participan en procesos como fijación de nitrógeno (Grajo *et al.*, 2017), solubilizadores de fosfato, se relacionan también con los ciclos biogeoquímicos de algunos nutrimentos para las plantas (Loredo-Osti *et al.*, 2004; Satyaprakash *et al.* (2017).

La producción intensiva en invernadero creció exponencialmente durante las últimas décadas, sin embargo, el crecimiento en superficie se ha detenido en los últimos años debido a una sustitución de invernaderos de bajo nivel tecnológico por estructuras de mayor tecnología (Morales *et al.*, 2017). La superficie total sembrada de jitomate en México ha mostrado una tendencia a decrecer año con año, debido a problemas de plagas y enfermedades, altos costos de producción, fluctuaciones en precios internacionales y disponibilidad de recursos hídricos limitada, lo que provoca una demanda insatisfecha de esta hortaliza incrementando su precio en el mercado (Salazar *et al.*, 2017). En los estados del norte de México los costos de producción son más elevados en comparación con la tecnología tradicional, por su extensa superficie y por la innovación tecnológica aplicada (Dzul *et al.*, 2011). A pesar de esto, el sistema de producción convencional se ha vuelto más efectivo en el aumento del rendimiento, control del clima, optimización del agua y nutrimentos, control de plagas y enfermedades, aspectos determinantes en la rentabilidad económica de un cultivo (Terrones *et al.*, 2020). El análisis de rentabilidad en los sistemas de producción orgánico y convencional de jitomate en invernadero busca medir la ganancia de cada sistema de producción, tomando en cuenta los costos totales de producción e ingresos por las ventas para conocer cuál es el beneficio que se genera, ofreciendo al productor un panorama de inversión que le permita tomar decisiones según la actividad productiva que más le convenga.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la producción, el microbioma de la rizosfera y la rentabilidad del cultivo de jitomate orgánico y convencional en invernadero.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, algunos problemas que se enfrentan en el mundo diariamente y que repercuten en la sociedad son el calentamiento global, el cambio climático, la deforestación, la sobreexplotación de los recursos y un aspecto que ha tomado gran relevancia es la inseguridad alimentaria.

El manejo inadecuado de insumos agrícolas altamente contaminantes ha tomado gran relevancia ante la falta de seguridad alimentaria global, ante ello, se ha impulsado nuevas prácticas agrícolas o la búsqueda de alternativas para que estas se modifiquen, enfocándolas hacia un sistema de producción orgánica que contribuya con el cuidado del medio ambiente, convirtiéndola en un factor y alternativa importante para la agricultura mundial (De Ponti *et al.*, 2012).

El constante uso de agroquímicos, ha contribuido a generar una crisis en la agricultura ya que dificulta la preservación de los ecosistemas, los recursos naturales, y afectaciones a la salud de las comunidades rurales y consumidores urbanos. En la búsqueda de mejorar la productividad a corto plazo por encima de la sustentabilidad ecológica, los riesgos que conlleva el uso excesivo e indiscriminado de agroquímicos en la agricultura moderna, solo ha generado inmensos daños para la salud y el ambiente, riesgos que además comprometen la sostenibilidad de los sistemas (Del Puerto *et al.*, 2014). En la producción intensiva de jitomate la fertilización se realiza con fertilizantes sintéticos, aplicando altas dosis de estos, especialmente de fertilizantes nitrogenados cuyos efectos al medio ambiente son negativos, a pesar que contribuyen de manera importante en el rendimiento y calidad de los frutos, sin embargo, estos fertilizantes son de importación, por lo que incrementan considerablemente los costos de producción (Preciado *et al.*, 2011). Aunado a esto, han provocado graves daños a la salud, lo que ha llevado a los consumidores a aumentar la demanda de productos alimenticios orgánicos (García-Villela *et al.*, 2020).

En México la agricultura convencional se concentra en los estados del norte del país que cuentan con la tecnología necesaria para incrementar y mejorar

competitivamente su producción. Es común que los productores de jitomate del sur de México producen con baja innovación tecnológica, ocasionando bajos rendimientos, altos costos de producción, uso excesivo de agroquímicos para controlar plagas y enfermedades, deficiencias nutrimentales, deterioro del suelo, escases de agua, falta de organización administrativa y financiera (Marín *et al.*, 2017). Con esto, surge la necesidad de proponer alternativas sobre el uso de abonos orgánicos que permitan reducir costos de producción en el cultivo de jitomate, favoreciendo la diversidad y actividad biológica del suelo.

3. JUSTIFICACIÓN

México se ha posicionado como líder mundial de exportación de jitomate (*Solanum lycopersicum* L), siendo Estados Unidos de América el principal destino de jitomate mexicano (SADER, 2020). La creación de alternativas de producción sustentables como lo es la agricultura orgánica, se basa en algunos principios como disminuir o evitar el uso de insumos sintéticos, fomentando la salud de los agroecosistemas al reducir la contaminación del agua, permitiendo su conservación y la del suelo, favorecer la diversidad biológica y su contribución en los ciclos y actividad biológica del suelo (FAO, 1999).

Por lo anterior, surge la necesidad de acercar a los productores alternativas como la agricultura orgánica y su asociación con tecnología implementada en la agricultura convencional como es el uso de invernaderos, que ayuden a la protección del cultivo de jitomate ante condiciones climáticas adversas y la amenaza de plagas y enfermedades, la combinación ambas prácticas generan las condiciones favorables para la obtención de resultados positivos en el rendimiento y calidad del cultivo. Así como la aplicación de biofertilizantes al ser una alternativa viable como fuente de nutrición ecológica, que garantice la calidad de los frutos, al mejorar la capacidad antioxidante, sólidos solubles totales y tamaño de los frutos (García-Villela *et al.*, 2020), así como un incremento en la conformación de la arquitectura de la planta y el incremento del rendimiento (Trujillo-Meza *et al.*, 2022).

En el mismo contexto, es necesario conocer el efecto de los abonos orgánicos y la diversidad de microorganismos que se encuentran asociados en la rizosfera de diferentes especies vegetales, en el suelo y en los sustratos que comúnmente se usan para la producción de jitomate, esto en función de la innovación de los sistemas de producción actuales (Camelo, 2011). El estudio de la relación planta-microorganismo es de suma importancia ya que permite establecer una relación entre el tipo de suelo y/o sustrato, el genotipo o variedad vegetal y el microbioma asociado (Calvo *et al.*, 2008)., todo esto con el respaldo de un análisis de rentabilidad de los sistemas de producción utilizados, para evaluar la viabilidad

económica de cada sistema productivo, dicho análisis es fundamental para implementar estrategias sustentables que lo mejoren el sistema de producción a través del uso de recursos locales.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar la productividad, la dinámica poblacional del microbioma de la rizosfera y la rentabilidad del cultivo de jitomate bajo el sistema orgánico y convencional en invernadero.

4.2 Objetivos específicos

Evaluar el rendimiento y calidad de frutos de jitomate cultivado en sistema orgánico, y convencional en invernadero.

Cuantificar la presencia de microorganismos en la rizosfera del cultivo de jitomate producido en sistema orgánico y convencional, en invernadero.

Realizar un análisis de rentabilidad del cultivo de jitomate bajo los sistemas de producción propuestos en invernadero y de productores en campo, con base a indicadores financieros.

5. HIPÓTESIS

El comportamiento productivo, la presencia de organismos benéficos de la rizosfera (bacterias) y la rentabilidad en el cultivo de jitomate, será favorecido por el sistema de producción orgánica en condiciones de invernadero.

6. PRODUCCION DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN INVERNADERO CON SOLUCIONES ORGÁNICAS Y CONVENCIONALES

6.1 RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la viabilidad del uso de soluciones orgánicas como fuente de fertilización en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero, reflejado en el rendimiento, calidad y nutrición de los frutos. Los tratamientos consistieron en el suministro de cinco soluciones nutritivas; cuatro de fuentes orgánicas 1) lixiviado de humus de lombriz, 2) biol (biofermentado de estiércol de bovino), 3) biofish (fermentado de vísceras de pescado), 4) supermagro (biofermentado de estiércol de bovino y aditivos minerales) y una fuente inorgánica (solución universal de Steiner, 1984). Se evaluaron variables de: rendimiento (gramos por planta, número de frutos, número de racimos y producción por m²) calidad de los frutos (diámetro polar, ecuatorial, firmeza, sólidos solubles totales y pH del fruto) así como el contenido de NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺, en fruto y extracto celular de peciolo e índice de verdor. De acuerdo a los resultados el mayor rendimiento de frutos de jitomate, número de frutos por planta, número de racimos, rendimiento por m², diámetro polar y ecuatorial, pH del fruto y contenido de K⁺ en extracto celular de peciolo, se dio con solución nutritiva de Steiner. Mientras que con la fertilización orgánica se presentaron los mejores resultados en las variables contenido de K⁺ y Ca²⁺ en fruto y contenido de NO₃⁻ y Ca²⁺ en extracto celular de peciolo. Dentro de las soluciones orgánicas se destaca la fertilización con biol y Biofish ya que presentaron los mejores resultados en la mayoría de las variables evaluadas, lo cual representa una alternativa de fuente de fertilización en la producción de jitomate en condiciones de invernadero al ser una alternativa benéfica con el medio ambiente y de bajo costo, aprovechando materiales locales para su elaboración.

Palabras clave: soluciones orgánicas, agricultura protegida, rendimiento, *Solanum lycopersicum* L.,

6.2 ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the viability of the use of organic solutions as a source of fertilization in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions, reflected in the yield, quality and nutrition of the fruits. The treatments consisted of the supply of five nutritive solutions; four from organic sources 1) earthworm humus leachate, 2) biol (biofermented from bovine manure), 3) biofish (fermented from fish visors), 4) supermagro (biofermented from bovine manure and mineral additives) and one source inorganic (Steiner universal solution, 1984). Variables were evaluated: yield (grams per plant, number of fruits, number of bunches and production per m²), quality of the fruits (polar and equatorial diameter, firmness, total soluble solids and pH of the fruit) as well as the content of NO₃⁻, K⁺ and Ca²⁺, in fruit and cell extract of petioles and greenness index. According to the results, the highest yield of tomato fruits, number of fruits per plant, number of bunches, yield per m², polar and equatorial diameter, fruit pH and K⁺ content in petiole cell extract, was given with nutrient solution of Steiner. While with organic fertilization the best results were presented in the variables content of K⁺ and Ca²⁺ in fruit and content of NO₃⁻ and Ca²⁺ in cell extract of petiole. Within the organic solutions, fertilization with biol and Biofish stands out since they presented the best results in most of the variables evaluated, which represents an alternative source of fertilization in tomato production under greenhouse conditions as it is a beneficial alternative. with the environment and low cost, taking advantage of local materials for its elaboration.

Keywords: organic solutions, protected agriculture, yield, *Solanum lycopersicum* L.,

6.3 INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.) es una de las principales hortalizas de mayor consumo en el mundo, China e India destacan con el 48.6 % de la superficie total cosechada y el 57.81 % de la producción mundial (FAO, 2019). China es el principal productor y consumidor de jitomate en el mundo, mientras que Estados Unidos es el principal importador y México el principal exportador razón por la cual la producción de jitomate en México es de suma importancia en el mercado internacional FIRA (2019), al contribuir con el 25.11 % de la producción (SAGARPA, 2017). De acuerdo con la FAO (2019), México alcanzó una producción de 4 243 058 t ha⁻¹, con una superficie cosechada de 92 993 ha, lo que representó el 1.75 % de la producción mundial. Los estados que aportan mayor producción de jitomate en México son: San Luis Potosí con 17.2 % de la producción nacional, seguido de Zacatecas y Michoacán con 10.8 % y 9.0 %, respectivamente (SIAP, 2021).

En México la producción de jitomate se realiza intensivamente en forma convencional, siendo en los estados de Sinaloa, Baja California y Jalisco donde se concentran las mayores áreas de producción de esta hortaliza bajo agricultura protegida (Infoagro, 2020). Su extensa superficie y la innovación tecnológica favorecen mayor la producción y calidad de frutos para exportación; sin embargo, los costos de inversión son elevados en comparación con la producción tradicional Dzul *et al.* (2011). Así como la fertilización que representa un gran impacto en la producción de alimentos (Benavides-Mendoza *et al.* 2021). A pesar de esto, es más efectivo en el aumento del rendimiento debido al control del clima y optimización del agua y nutrientes, así como en el control de plagas y enfermedades, aspectos determinantes en la rentabilidad económica de un cultivo Terrones *et al.* (2020).

Sin embargo, la producción de esta hortaliza es afectada por factores climáticos, uso excesivo de agroquímicos, escases de agua, desconocimiento de materiales genéticos mejorados y los altos costos para la adquisición de sistemas protegidos, lo que genera bajos rendimientos y calidad de los frutos, lo que afecta su comercialización (Gómez-Merino, 2017). Aunado a lo anterior, el mal manejo de los

insumos agrícolas altamente contaminantes y su efecto en la salud humana y en el medio ambiente ha generado la búsqueda de estrategias para la producción de alimentos sanos, con alto contenido nutricional, frutos de mejor calidad y libres de pesticidas, que no afecten a la salud y al medio ambiente, en este sentido, la agricultura orgánica es un sistema de producción alternativo en comparación con la agricultura convencional (Ponti *et al.*, 2012; Del Puerto, 2014). Recientemente, se han implementado sistemas de producción mediante el uso de insumos orgánicos en ambientes protegidos (túneles, casas sombra e invernaderos) con la finalidad de favorecer el rendimiento y calidad de las producciones, reducir costos, mejorar la competitividad y rentabilidad, garantizar su inocuidad y reducir el impacto ambiental (Salinas, 2014).

El uso de biofertilizantes en cultivos hortícolas favorece las características físicas, químicas y biológicas que incrementan la fertilidad en el suelo y aumentan la diversidad de la biota en el mismo Cavalcante *et al.* (2019). Los biofertilizantes provienen de fuentes orgánicas naturales y no contaminan los suelos ni los mantos acuíferos (Lucas *et al.* 2021). Además, ante la escasez de fertilizantes permitidos en la agricultura orgánica (AO) se han propuesto algunas alternativas, como es el uso de compostas como medio de crecimiento y fuente de nutrimentos en la producción de hortalizas Márquez-Hernández *et al.* (2013). El uso eficiente de insumos de fuentes orgánicas contribuye directamente en la economía, rentabilidad y competencia para la sostenibilidad agrícola de las comunidades rurales Rezvani *et al.* (2011).

Estas alternativas orgánicas reemplazan gradualmente la fertilización mineral, debido a la necesidad de generar productos agrícolas que disminuyan el costo ambiental, tomando gran importancia en la actualidad alrededor del mundo Torres-García *et al.* (2019). El uso de residuos orgánicos mediante un reciclaje racional, ha generado un impacto positivo en el aprovechamiento de nutrientes dentro de la materia orgánica generada, ya que favorece el desarrollo de las plantas, sustituyendo fertilizantes minerales que dañan la fertilidad biológica del suelo (Ramos y Terry, 2014). Los sistemas orgánicos han demostrado tener un menor

impacto ecológico sin perder la calidad de los alimentos, por la necesidad de obtener con ello alimentos inocuos y promoviendo el reciclaje de desechos orgánicos (Moreno-Reséndez *et al.* 2019).

En diversos estudios, se compara la producción convencional y la orgánica, presentado mayores rendimientos en el sistema convencional, mismos que al ser comparados con los ingresos por las ventas de tomate orgánico, este sistema es menos rentable, de igual manera, en el sistema orgánico se incrementan algunos parámetros de calidad, aspecto que influye positivamente para su consumo en fresco y su procesamiento en la industria (Preciado *et al.* 2011).

La adición de abonos orgánicos en la planta induce a un mayor desarrollo radicular, aumenta de la biomasa vegetal y producción de Francis *et al.* (2010). En cítricos se ha observado respuesta en el desarrollo, crecimiento y tolerancia a enfermedades con la adición de fertilizantes orgánicos al estimular la calidad biológica, física y química del suelo, debido al aumento en el suministro de carbono, nitrógeno y compuestos orgánicos para el crecimiento y reproducción de la fauna microbiana González-Mancilla *et al.* (2013). El suministro de abonos orgánicos incrementa la presencia de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, fijadoras de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en la rizosfera de las plantas y en el suelo (Rivera-Cruz, 2011). Por lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar el rendimiento y la calidad en frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con soluciones orgánicas y una convencional en cultivo sin suelo, en invernadero.

6.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

Se estableció un experimento en un invernadero cenital cubierto con plástico blanco lechoso de 800 µm en el techo, con 70 % de transmitancia y paredes con malla anti áfidos, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, de la Universidad Autónoma de Guerrero, en Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México (18°.35'27'' latitud N y 99°.48'02'' longitud O, a una altitud de 786 m).

Diseño del experimento

Los tratamientos consistieron en el suministro de cinco soluciones nutritivas; cuatro de fuentes orgánicas: 1) lixiviado de humus de lombriz, 2) biol (biofermentado de estiércol de bovino), 3) biofish (biofermentado de vísceras de pescado), 4) supermagro (biofermentado de estiércol de bovino adicionado con sales minerales) y la solución universal de Steiner (1984) en plantas de jitomate. El testigo positivo consistió en plantas cultivadas en composta regadas con la solución convencional (Steiner) y el testigo negativo fueron plantas en arena con la misma solución, mientras que para el resto de los tratamientos con fertilización orgánica se usó únicamente composta como medio de crecimiento del cultivo, lo que generó seis tratamientos con 10 repeticiones. La unidad experimental consistió en una maceta con una planta, lo que originó 60 unidades experimentales, distribuidas en un diseño experimental completamente al azar.

Material vegetativo y trasplante

El material genético utilizado fue el Híbrido Ramses de crecimiento indeterminado, la siembra de las semillas se realizó en una charola de polipropileno de 200 cavidades, llena con turba. Se colocó una semilla por cavidad a una profundidad aproximada de 0.5 cm. La charola con las semillas fue regada manualmente tres veces al día para mantener la humedad del sustrato. El trasplante se realizó a los 30 días después de la siembra (dds) cuando las plantas presentaron 20 cm de altura y cuatro a cinco hojas verdaderas, en bolsas de polietileno negro con capacidad de 12 L, llenadas con composta elaborada por el método descrito por Ortíz (2005) y con arena previamente desinfectada con hipoclorito de sodio al 5 %. La densidad de plantación consistió en 4.1 plantas m⁻². Las soluciones orgánicas se elaboraron según lo descrito por Vásquez y Morales (2016); Santoyo (2011) y Aliaga, (2007) para elaboración de supermagro, biofish y biol, respectivamente; mientras que el lixiviado de vermicompost se obtuvo con un productor certificado de lombricomposta de la región. La composta y las soluciones orgánicas presentaron las características químicas descritas en el (cuadro 1).

Cuadro 1. Propiedades químicas de soluciones nutritivas orgánicas aplicadas en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Determinación	Unidades	Lixiviado de lombriz	Biol	Biofish	Supermagro	Composta
pH		7.10	8.09	5.55	8.71	7.59
Cond. Eléctrica	dS m ⁻¹	4.20	4.00	32.0	11.0	1.90
Nitrógeno total	%	0.04	0.03	0.37	0.05	1.77
Fósforo (P)	%	0.0003	0.0019	0.01	0.0008	0.27
Potasio(K)	%	0.11	0.04	0.48	0.28	0.42
Calcio (Ca)	%	0.0049	0.02	0.24	0.0002	2.51
Magnesio (Mg)	%	0.0016	0.02	0.06	0.05	0.53
Sodio (Na)	%	0.0073	0.01	0.03	0.03	0.02
Azufre(S)	%	0.01	0.0024	0.07	0.0062	0.18
Hierro (Fe)	ppm	3.26	4.93	12.9	4.41	10274
Cobre (Cu)	ppm	0.23	0.22	0.24	0.25	27.49
Manganeso (Mn)	ppm	2.34	2.55	3.00	2.50	513
Zinc (Zn)	ppm	0.04	0.38	0.26	0.29	120
Boro(B)	ppm	0.26	0.12	1.40	1.44	7.36
Humedad	%	99.6	99.6	95.7	98.8	2.64
Materia Orgánica	%	0.18	0.24	2.73	0.47	13.7
Cenizas	%	0.25	0.21	1.59	0.73	86.3
Carbono Orgánico	%	0.10	0.14	1.59	0.27	7.96
Relación C/N		2.43	4.98	4.31	5.17	4.49

Las soluciones nutritivas de fuentes orgánicas se ajustaron a pH de 5.5 con ácido acético y la solución convencional con ácido sulfúrico. El riego se realizó

manualmente, dos veces por día (mañana y tarde), variando el volumen de solución nutritiva de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo, un volumen promedio de 2.5 L por planta por día, durante el crecimiento hasta la cosecha. Las plantas se tutoraron a los 15 días después del trasplante (ddt) con rafia colocada en la base del tallo y amarrada a las líneas de los tutores del invernadero. La poda de yemas axilares consistió en la eliminación de estas durante el crecimiento del cultivo. La poda de hojas se hizo cuando los frutos alcanzaron su madurez fisiológica, para favorecer su maduración comercial. La polinización se realizó manualmente por la mañana y tarde a partir del inicio de la floración (23 ddt).

Rendimiento

A los 65 ddt se cuantificó el número de frutos por planta; el rendimiento en peso (g) de frutos por planta consistió en pesar la totalidad de frutos cosechados por planta con una báscula digital ISOLAB® Laborgeräte GmbH modelo LS-EJ-2200AS, el rendimiento en peso de frutos por m² consistió en pesar la totalidad de frutos que se produjeron por metro cuadrado con la báscula antes descrita. Finalmente, se contabilizó el número de racimos producidos por planta.

Calidad de frutos

En 30 frutos comercialmente maduros seleccionados al azar, se registró el peso individual del fruto (g) con la báscula antes mencionada, el diámetro ecuatorial y polar (mm) con un vernier digital STAINLESS HARDENED®. La firmeza (kg cm⁻²) con un penetrómetro de frutas modelo FDV-30 (30 lb x 0.01 lb), con puntal cónico. En el jugo de los frutos se determinaron los sólidos solubles totales (SST) (°Brix) con un refractómetro Atago® 0-30, el pH en la pulpa con un potenciómetro HANNA®. A continuación, de dos a tres gotas del jugo de los frutos se colocaron en los respectivos medidores portátiles Horiba® modelo LAQUATWIN previamente calibrados con sus respectivas soluciones para la determinación de NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺, enseguida, la concentración de cada ion fue registrada en mg L⁻¹.

Lecturas SPAD y iones en extracto celular de peciolo (ECP)

En etapa productiva se registró el índice de verdor en lecturas SPAD con un SPAD-502 Minolta®, en tres hojas recientemente maduras se obtuvo el promedio de tres lecturas de 5 plantas por tratamiento (Preciado *et al.*, 2011). A continuación, las hojas se recolectaron y los pecíolos se cortaron en fracciones de 0.5 cm y colocados en una presa extractora de savia. En seguida, dos a tres gotas savia se colocaron en los respectivos medidores portátiles Horiba® modelo LAQUATWIN, de NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺, previamente calibrados con sus respectivas soluciones. Posteriormente, se registró la concentración de NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺ en mg L⁻¹ del extracto celular de los pecíolos (ECP). Finalmente, los datos se organizaron y analizaron mediante un análisis de varianza con el programa SAS (Statistical Analysis System) (2002), versión 9 y a las variables que resultaron significativas se les hizo una prueba de comparación de medias de Tukey (P≤0,05).

6.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

Los resultados mostraron diferencias significativas (P≤0,05) en las variables de rendimiento evaluadas por efecto de las soluciones nutritivas en el cultivo de jitomate. El mayor rendimiento de fruto por planta (Figura 1) se obtuvo con la solución de Steiner y composta (6414.7 g planta⁻¹), seguido del tratamiento de solución Steiner y arena (5269.3 g planta⁻¹), mientras que el biofish, biol, supermagro y lixiviado de lombriz produjeron 48.05 %, 49.1 %, 61.63 % y 64.18 % menos rendimiento con respecto al testigo en composta. Estos resultados presentan la misma tendencia con los reportados por Muñoz-Villalobos *et al.* (2014) en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) criollo al detectar que la composta junto con la fertilización mineral incrementan el rendimiento en fruto. En el mismo sentido, Márquez-Quiroz *et al.* (2014) demostraron que el uso de sustratos y fertilización convencionales superan en 29.6 % los rendimientos alcanzados con fertilización orgánica, posiblemente ocasionado por algunos factores como la lixiviación y baja adsorción de los nutrimentos. Por su parte, Fortis-Hernández *et al.* (2012) al evaluar el cultivo de pimiento morrón (híbrido Calider) en arena con solución Steiner obtuvieron mayor producción de frutos, que con sustratos orgánicos. Así mismo, González-Solano *et al.* (2013) obtuvieron la misma respuesta en hortalizas de hoja

(*Lactuca sativa* L. cv Escala, *Coriandrum sativum* L. cv Caribe y *Ocimum basilicum* L. cv Minimum) en cultivo hidropónico, al observar mayor respuesta a la solución nutritiva de Steiner respecto al uso de soluciones orgánicas en sistema NFT, lo cual se atribuye al balance iónico que existe en dicha solución.

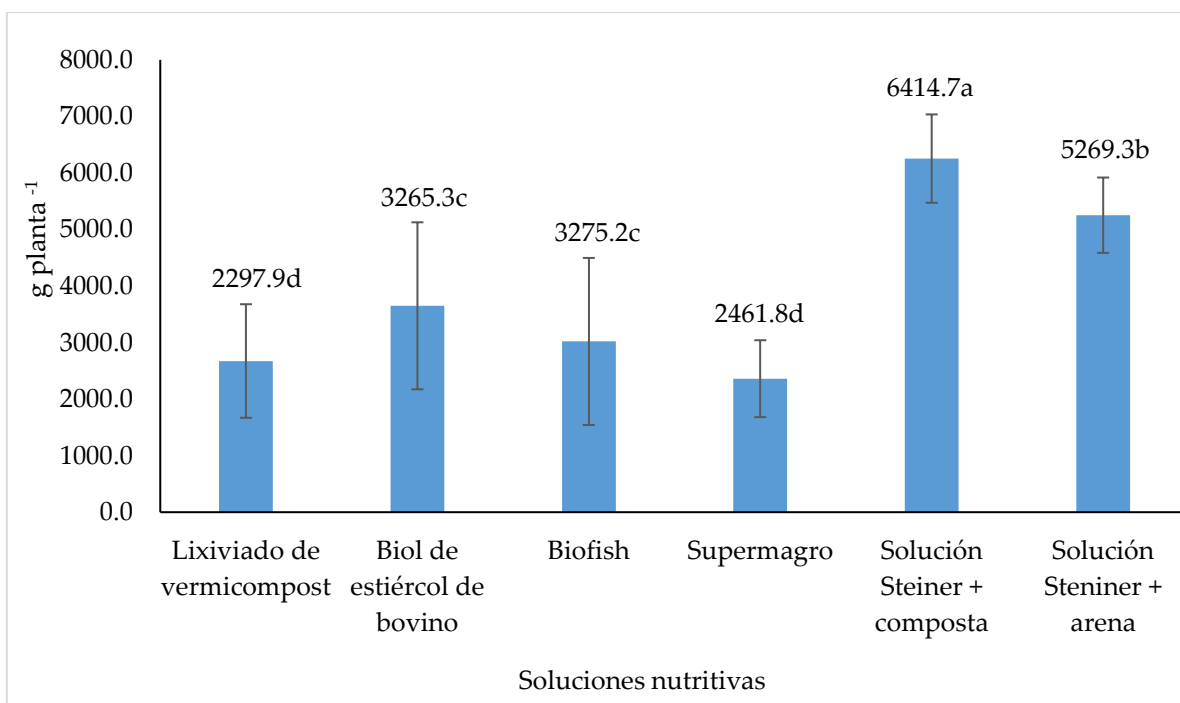


Figura 1. Rendimiento de frutos de jitomate en invernadero en respuesta a las soluciones nutritivas. Medias con letras iguales entre barras no son estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS= 1141.2.

En el número de frutos por planta (Figura 2); la composta con solución Steiner favorecieron la producción de mayor cantidad de frutos (63.1) por planta; mientras que los tratamientos con soluciones orgánicas tuvieron similar número de frutos por planta, aunque el menor número de frutos por planta se obtuvo en con lixiviado de lombriz (39.7 frutos por planta) lo cual representó 33.7 % menos frutos que con la solución de Steiner y composta. Sin embargo, estos resultados son mayores a los valores reportados por Vázquez-Vázquez *et al.* (2015), quienes encontraron que con el suministro de soluciones nutritivas orgánicas en plantas de jitomate cv. Hermosa produjeron de 23 a 29 frutos por planta. También superan en 26 % lo

reportado por Márquez-Quiroz *et al.* (2014) en los materiales Cuautémoc y El cid, comparado con el menor número de frutos obtenidos en este estudio.

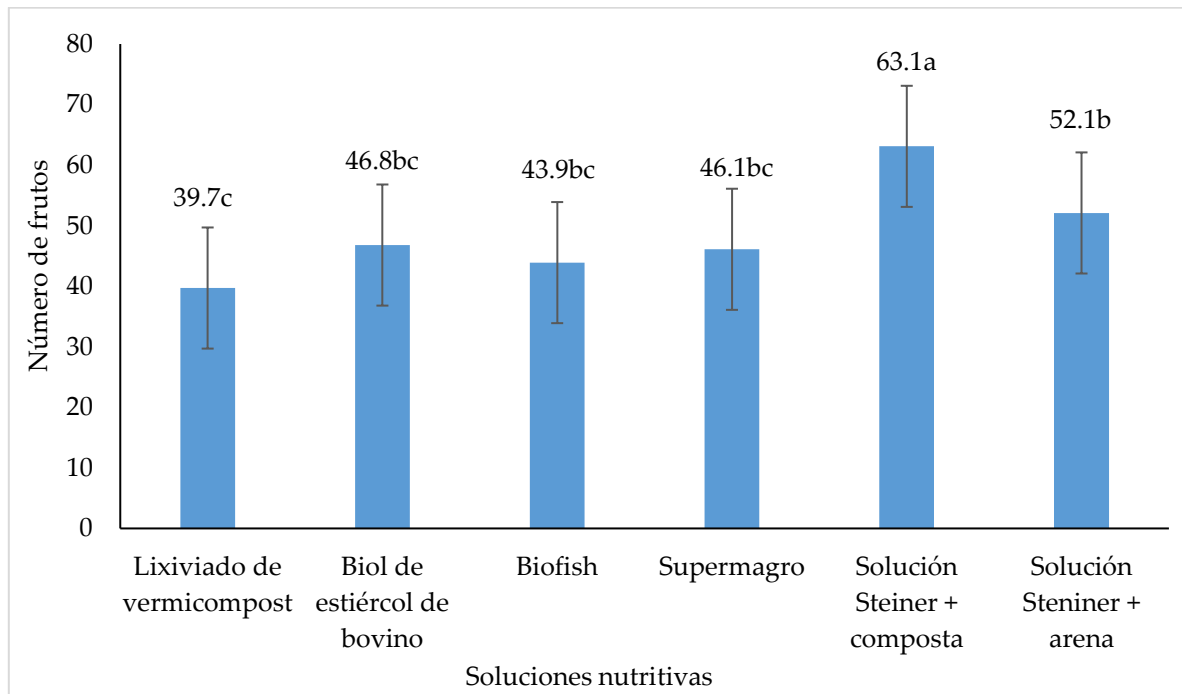


Figura 2. Número de frutos por planta de jitomate en invernadero en respuesta a soluciones nutritivas. Medias con letras iguales entre barras no son estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS= 11.141.

Respecto al número de racimos por planta (Figura 3), únicamente hubo diferencia al comparar el tratamiento con solución de Steiner y arena (8.3 racimos/planta) con respecto al supermagro (7.5 racimos/planta). La respuesta favorable en la producción de racimos en plantas fertirrigadas con solución de Steiner ha sido reportada por González-Fuentes *et al.* (2021) en la producción y atributos morfológicos de frutos de tomate uva cv. Luciplus.

De manera similar, Suárez *et al.* (2017) indican que el número de racimos está en función del material vegetal y del manejo agronómico, entre ellos la poda. Por su parte, Hernández- Rojas *et al.* (2018) señalan que el mayor número de racimos en plantas de cuatomate se presentó cuando estas se fertirrigaron con solución nutritiva de Steiner; los mismos autores coinciden que la temperatura en ambientes controlados también influye en el número de racimos por planta.

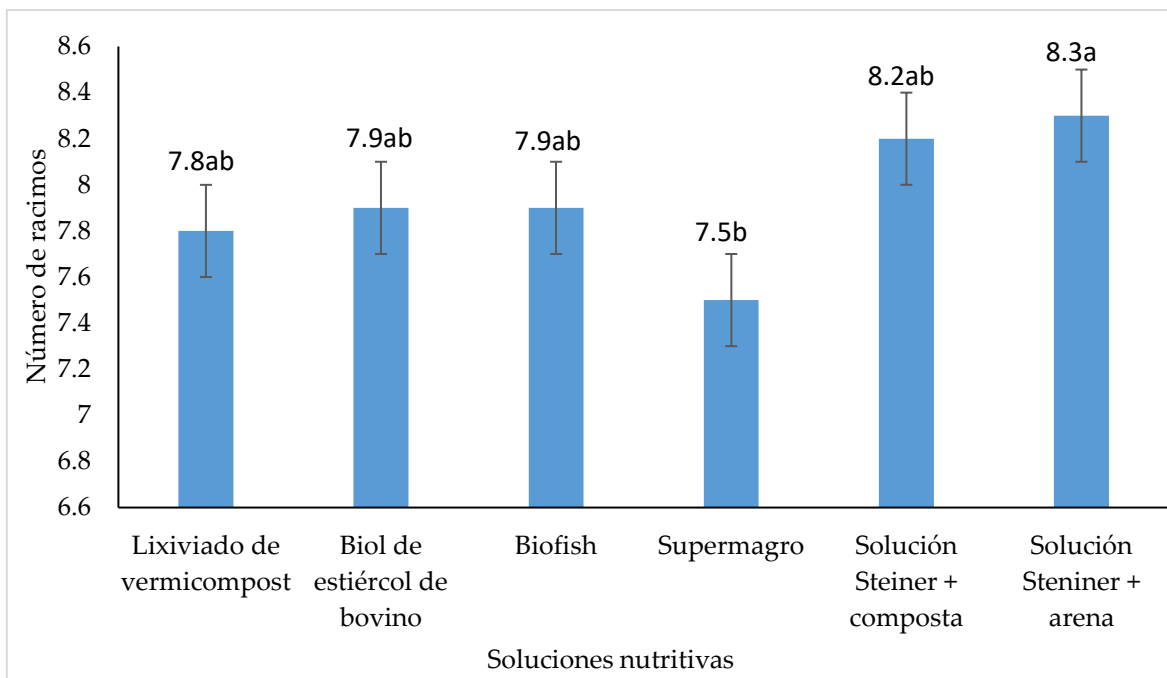


Figura 3. Número de racimos de frutos de jitomate en invernadero en respuesta a soluciones nutritivas. Medias con letras iguales entre barras no son estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS = 0.574.

De la misma manera, se tuvo que el mayor rendimiento en peso de frutos por m^2 (Figura 4), se presentó cuando el cultivo se estableció en composta y se regó con solución Steiner, con 50485 g m^{-2} , superando en 42.1 % al tratamiento en arena y solución Steiner. Dentro de las soluciones orgánicas el mayor rendimiento por m^2 se tuvo con el biol, pero con 69.37 % menos rendimiento que el mayor promedio registrado con el testigo en composta, mientras que el biofish, lixiviado de lombriz y supermagro tuvieron 74.7, 77.38 y 80.55 % menos rendimiento. Este comportamiento fue similar a lo reportado por Preciado-Rangel *et al.* (2011), quienes señalaron que la mayor producción, rendimiento y calidad en frutos de jitomate se alcanzan con la fertirrigación mediante la solución nutritiva de Steiner, en comparación con la fertilización orgánica en condiciones de invernadero, superando la producción del sistema convencional 70.1 % la producción por g m^{-2} con respecto al rendimiento más alto de los tratamientos con solución orgánica. Resultados similares son reportados por Fortis-Hernández *et al.* (2012) quienes

obtuvieron (6.93 kg m^{-2}) de fruto de pimiento morrón cultivado en arena y fertirrigado con solución Steiner.

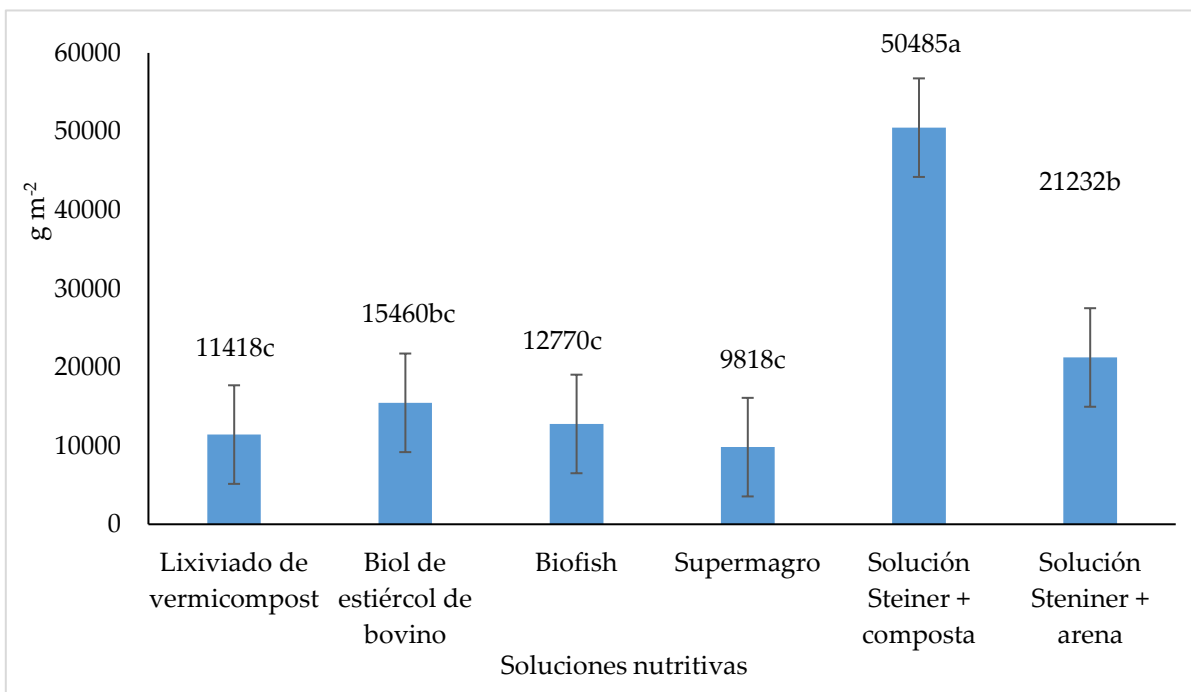


Figura 4. Rendimiento en peso de frutos de jitomate por metro cuadrado, por efecto de la solución nutritiva. Medias con letras iguales entre barras no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS= 11451.

Calidad de frutos

Se tuvo que las soluciones nutritivas influyeron en el tamaño de los frutos al presentar diferencias significativas en el diámetro polar y diámetro ecuatorial de los mismos. Los frutos con mayor diámetro polar se presentaron en plantas cultivadas en composta (7.9 mm) y arena (7.8 mm) con solución de Steiner, respectivamente. Mientras que la solución de Steiner con composta superó el diámetro polar de los frutos cosechados con respecto a los tratamientos con soluciones orgánicas, incrementando el diámetro polar de los frutos en 5.1, 7.6 y 10.1 % comparado con el biol y biofish, lixiviado de vermicompost y supermagro, respectivamente. También, el diámetro ecuatorial fue mayor con la solución de Steiner tanto en composta (5.3 mm) y arena (5.4 mm), así como con biofish, mientras que los frutos con menor diámetro ecuatorial se obtuvieron con el supermagro (4.6 mm) y lixiviado

de vermicompost (4.8 mm). El mismo comportamiento se observó en el peso individual de los frutos; frutos de mayor peso individual se cosecharon con la solución de Steiner con composta (118.5 g) y arena (118.7 g), mientras que los frutos de menor tamaño y peso se tuvieron con el supermagro (76.0 g) y lixiviado de vermicompost (85.6 g). A pesar de lo anterior, el biol y biofish fueron los tratamientos de fuentes orgánicas que favorecieron el tamaño (diámetro polar y ecuatorial) y peso individual de los frutos con respecto al supermagro y lixiviado de vermicompost, posiblemente debido al mayor aporte de elementos como Ca, Fe, Mn y Zn (Cuadro 1). Mientras tanto, los valores de diámetro polar y ecuatorial de la presente investigación superan a los promedios reportados por Márquez-Quiroz *et al.* (2014) en tomate saladette, variedades Cuauhtémoc (6.0 cm) y Cid (6.2 cm) con fertilización inorgánica. También difieren de lo mencionado por Vázquez-Vázquez *et al.* (2015) quienes reportaron valores superiores de diámetro polar, pero frutos con diámetro ecuatorial a los obtenidos en el presente estudio, al respecto Luna-Fletes *et al.* (2018) indican que uno de los factores en la disminución del tamaño de fruto es el alto contenido de nitrógeno con el uso de soluciones nutritivas ya que permite mayor desarrollo vegetativo ocasionando una disminución en el tamaño de fruto. Sin embargo, fue evidente el efecto limitado de las soluciones orgánicas en el tamaño (diámetro polar y ecuatorial y peso individual) de los frutos se debió a la baja concentración nutrimental en las fuentes utilizadas.

Por otro lado, la firmeza no se vio modificada en respuesta a las soluciones nutritivas suministradas, sin embargo, resultados presentados por González-Fuentes *et al.* (2021), si presentaron diferencias en los tratamientos siendo mayor la firmeza en los tratamientos orgánicos superando al inorgánico en un 10.3 y 6 % respectivamente. A sí mismo, Baca-Castillo *et al.* (2012) presentaron diferencias en cuanto a firmeza en tres selecciones de jitomate de costilla a dos niveles de potencial osmótico de la solución nutritiva Steiner, mencionando que los niveles bajos de firmeza se deben al nivel avanzado de maduración del fruto en la planta al momento de ser cosechado, así como a los bajos niveles de Ca^{2+} en la etapa de maduración del fruto. En cuanto a los valores de SST detectados en esta investigación se encuentran dentro del rango reportado por Márquez-Quiroz *et al.*

(2014), quienes encontraron valores de 4.0 y 4.6 °Brix en jugo de frutos de jitomate cultivados con sustratos orgánicos, mientras que García-Villela *et al.* (2020) obtuvieron mayor concentración de SST con el suministro de soluciones nutritivas orgánicas en frutos de melón fertilizadas con té de composta. El mismo comportamiento fue observado por Vázquez-Vázquez *et al.* (2015) en frutos de jitomate saladett variedad Hermosa, quienes obtuvieron mayor concentración de SST con soluciones orgánicas. Por otro lado, datos reportados por Núñez-Ramírez *et al.* (2017) reafirman que los valores más altos de SST se obtienen con la fertilización orgánica ya que no se presentaron diferencias significativas en los SST en frutos de jitomate por el efecto de la fertiirrigación nitrogenada en invernadero donde obtuvieron valores entre 3.17 y 4.46 °Brix, siendo más bajos a los reportados en esta presente investigación.

En pH de fruto se presentaron diferencias significativas, donde los valores más altos fueron en los tratamientos con fertilización inorgánica 4.4, así como 4.2 en los valores más bajos en los tratamientos con fertilización orgánica a base de lixiviado y supermagro. Mientras que Hoehne *et al.* (2020) refiere que la adición de abonos orgánicos en frutos de fresa no presenta alteraciones al pH de los frutos y los índices que reporta se encuentran dentro del rango apropiado. Baca-Castillo *et al.* (2012) hacen referencia que entre más alto sea el valor de pH en el fruto, mejor será la aceptación en el mercado para su consumo en fresco ya que al presentar menor acidez el sabor dulce será más resaltante y agradable.

Cuadro 2. Calidad de frutos de jitomate cultivados con soluciones nutritivas orgánicas e inorgánicas, en invernadero.

Soluciones nutritivas	Diámetro polar	Diámetro ecuatorial	Peso individual	Firmeza	SST	pH
	Mm		G	kgf cm ⁻²	(°Brix)	
Composta + Steiner	7.9 a	5.3 ab	118.5 a	974.0 a	4.4 a	4.4 ab

Arena + Steiner	7.8 ab	5.4 a	118.7 a	1038.5 a	4.4 a	4.4 a
Lixiviado	7.3 cd	4.8 c	85.6 c	827.0 a	4.5 a	4.2 c
Biol	7.5 bc	5.1 b	98.8 b	929.5 a	4.6 a	4.3 abc
Biofish	7.5 bc	5.2 ab	101.4 b	802.5 a	4.7 a	4.3 bc
Súper magro	7.1 d	4.6 c	76.0 c	953.0 a	4.4 a	4.2 c
DMS	0.34	0.29	11.25	259.75	0.34	0.17

Medias con letras iguales entre columnas no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($\alpha = 0.05$) *DMS: Diferencia mínima significativa; SST: Sólidos solubles totales.

Con respecto al contenido de nutrimentos (iones específicos) en el jugo de frutos de jitomate se tuvo que la concentración de NO_3^- no presentó diferencias significativas por efecto de los tratamientos, sin embargo, los valores oscilaron de 1890 a 2015.0 mg L^{-1} de NO_3^- en jugo de fruto. En cuanto al contenido de K^+ y Ca^{2+} , estos fueron modificados por la solución nutritiva. Por un lado, se tuvo que la mayor cantidad de K^+ en el jugo de los frutos se presentó con el lixiviado de humus de lombriz (236.50 mg L^{-1}), superando al resto de los tratamientos hasta en 75.8%. Por otro lado, la mayor concentración de Ca^{2+} en jugo de los frutos de jitomate se encontró con el súper magro con 18.800 mg L^{-1} , superando hasta en 53.2% el resto de los tratamientos, cuyos valores promedio fueron similares. En la literatura no existe reportes de valores de estos iones (NO_3^- , K^+ y Ca^{2+}). La concentración de detectados en jugo de frutos de jitomate de este estudio con la fertilización orgánica difiere de los obtenidos por Terry-Alfonso *et al.* (2017), quienes reportaron mayor concentración de nitratos en frutos con la producción convencional. En el mismo sentido, resultados similares mencionaron Hoehne *et al.* (2020), quienes conservaron mayor concentración de N, P y K, en frutos de fresa con manejo orgánico, respuesta que está en función de la cantidad de biofertilizante aplicado,

de la biotransformación y de la liberación de nutrimentos, los cuales influyen en la calidad de los frutos.

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en jugo de frutos de jitomate cultivados con diferentes soluciones nutritivas orgánicas e inorgánicas

Soluciones nutritivas	NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺
	mg L ⁻¹		
Composta + Steiner	1870.0 a	89.65 b	10.450 b
Arena + Steiner	1790.0 a	94.25 b	8.800 b
Lixiviado	1850.0 a	236.50 a	10.100 b
Biol	1970.5 a	57.45 b	10.150 b
Biofish	2015.0 a	75.80 b	8.950 b
Súper magro	1865.0 a	84.75 b	18.800 a
DMS	547.22	71.787	6.0603

Medias con letras iguales entre columnas no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($\alpha = 0.05$) *DMS: Diferencia mínima significativa

Lecturas SPAD y iones en extracto celular de peciolo (ECP)

Las lecturas SPAD no fueron afectadas por las soluciones nutritivas suministradas. Sin embargo, los resultados obtenidos oscilaron en el rango 49.64 a 52.25, con una tendencia mayor a los reportados por González-Fuentes *et al.* (2021), quienes encontraron mayores valores de lecturas SPAD con manejo orgánico.

Por el contrario, Preciado-Rangel *et al.* (2011) detectaron mayor índice de verdor en lecturas SPAD (54.2). Con fertilización inorgánica, dicho valor es ligeramente superior al promedio registrado en el presente trabajo.

Con respecto a la concentración de NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺ en el ECP, estas variaron en respuesta a las soluciones nutritivas evaluadas. Las mayores concentraciones de NO₃⁻ se tuvieron con las soluciones nutritivas a base de lixiviado de vermicompost

(2900.00 mg L⁻¹) y biofish (2840.00 mg L⁻¹), mientras que la menor concentración de NO₃⁻ se obtuvo con la solución Steiner y en composta cuyo valor representó 13.5 % menos concentración de NO₃⁻ con respecto al mayor promedio. El contenido de NO₃⁻ en ECP los valores encontrados en este estudio coinciden con los obtenidos por Fortis-Hernández *et al.* (2012), quienes detectaron valores de 540.51 mg kg⁻¹ con biocompost, en el cultivo de chile morrón bajo sistema de producción orgánica. Esto pudiera ser atribuido al aporte de nutrientes por la composta, así como a la disponibilidad de este nutriente en el suelo por efecto de la fertilización orgánica. En contraste, Preciado-Rangel *et al.* (2011) obtuvieron mayores concentraciones de nitratos en ECP con solución de Steiner (618.20 mg L⁻¹) en el cultivo de jitomate. Los valores encontrados en esta investigación son mayores a los reportados por Núñez-Ramírez *et al.* (2017) en la concentración de NO₃⁻ en ECP en tomate en invernadero, donde se presentó una disminución en la concentración de NO₃⁻ al final del cultivo, cuyo efecto se le atribuye al descenso en temperatura dentro del invernadero. Similarmente Sánchez *et al.* (2016) reportan valores menores de concentración de NO₃⁻ entre 377.27 a 1263.63 mg L⁻¹ en ECP en hojas de melón producido en invernadero. La mayor concentración de K⁺ se presentó cuando las plantas fueron fertirrigadas con la solución nutritiva de Steiner en arena (66.00 mg L⁻¹) y con supermagro (60.50 mg L⁻¹). Sin embargo, los pecíolos recolectados en las plantas fertilizadas con biol y lixiviado de vermicompost registraron las menores concentración de K⁺ en el ECP con 33.30 y 28.60 mg L⁻¹, respectivamente. Luna-Fletes *et al.* (2021) encontraron las mayores concentraciones de N y K en el cultivo de tomate Cherry con soluciones nutritivas inorgánica, lo que se atribuye a la disponibilidad y balance de los nutrientes en dichas soluciones. Romero *et al.* (2013) reporta concentraciones mayores de K⁺ de (10100 mg L⁻¹) en ECP de hojas de menta a (*Menta piperita* L.) donde se utilizó vermicompost como sustrato, mayores que los datos reportados en esta presente investigación. La mayor concentración de Ca²⁺ en ECP de hojas de jitomate, se registraron cuando las plantas se fertirrigaron con biol (3330.0 mg L⁻¹) y lixiviado de vermicompost (2640.0 mg L⁻¹). Mientras que las menores concentraciones se detectaron en el resto de los tratamientos, cuyos promedios oscilaron de 1164.0 a 1940.0 mg L⁻¹. Al respecto,

existen reportes que la concentración K^+ y Ca^{2+} se incrementa con el uso de abonos orgánicos como composta y vermicomposta como lo señalaron Márquez-Quiroz *et al.* (2014) en la producción de tomate saladette en invernadero, debido a que se modifica el patrón de traslocación de minerales y estos son enviados en mayor proporción hacia los órganos de demanda, dependiendo de la etapa fenológica y la disponibilidad del nutrimento. Datos reportados por Benavides-Mendoza *et al.* (2021) en concentración de Ca^{2+} reportaron valores entre 27 a 582 $mg L^{-1}$ en ECP de cultivos del occidente de México estos valores son menores a los reportados en esta investigación. Los valores obtenidos en esta investigación son mayores a los reportados por Flores-Bernal *et al.* (2021) en ECP de genotipos de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) quienes encontraron concentraciones inferiores de NO_3^- entre 332.00 a 872.00 $mg L^{-1}$ y en Ca^{2+} de 3.60 a 8.00 $mg L^{-1}$, mientras en K^+ la concentración fue mayor entre 1722.00 a 2740.00 $mg L^{-1}$, atribuyendo estas diferencias a la variabilidad genotípica, edad de la planta y a las condiciones climáticas y actividad química de las soluciones en el medio de crecimiento.

Cuadro 4. Lecturas SPAD y concentración de iones específicos en hojas y extracto celular de peciolo (ECP) de jitomate cultivados con diferentes soluciones nutritivas orgánicas e inorgánicas

Soluciones nutritivas	Lecturas SPAD	NO_3^-	$mg L^{-1}$	
			K^+	Ca^{2+}
Composta + Steiner	50.99 a	2510.00 c	57.60 bc	1940.0 bc
Arena + Steiner	51.03 a	2758.00 abc	66.00 a	1164.0 c
Lixiviado	49.64 a	2900.00 a	28.60 d	2640.0 ab
Biol	52.25 a	2570.00 bc	33.30 d	3330.0 a
Biofish	51.77 a	2840.00 ab	50.70 c	1910.0 bc
Súper magro	51.11 a	2600.00 bc	60.50 ab	1635.0 c
DMS	6.09	291.75	7.23	852

Medias con letras iguales entre columnas no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($\alpha = 0.05$) *DMS: Diferencia mínima significativa.

6.6 CONCLUSIÓN

La producción de jitomate en composta y con solución de Steiner superó en un 49 % el rendimiento por planta y en hasta en un 69% el rendimiento por metro cuadro con respecto a las soluciones nutritivas con fuentes orgánicas. Mientras que la solución nutritiva que resultó mejor fue a base de biol (biofermentado de estiércol de bovino) y, por ende, la que más se aproximó al rendimiento del sistema convencional.

La calidad de frutos en tamaño (diámetro polar y ecuatorial y peso individual), fue mayor con la solución de Steiner, sin embargo, el pH y la concentración de NO_3^- , K^+ Y Ca^{2+} en jugo de frutos, así como iones específicos NO_3^- , K^+ Y Ca^{2+} en el extracto de peciolo de hojas se incrementaron con la fertilización orgánica.

A pesar de que la mayor producción y calidad de frutos hubo con la fertilización convencional, las soluciones nutritivas orgánicas son una alternativa para la producción sustentable de jitomate en invernadero, enfocada a los mercados de productos orgánicos.

6.7 LITERATURA CITADA

Aliaga N. 2007. Producción de Biol Supermagro. Centro econumérico de promoción y acción social. (Cedepas norte). 1-9.

http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/Manual_de__Bioles_rina.pdf:
Consultado 28 de mayo del 2020.

Baca-Castillo GA, Cueto-Wong JA, Urrieta-Velázquez JA, Rodríguez-Mendoza MN, Ramírez-Vallejo P y Ruiz-Posada LM, (2012). "Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.)." *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 18(3): 371-381.

Benavides-Mendoza A, Alba-Romenus k and Francisco-Francisco N. 2021. Relation between soil solution composition and petiole cellular extract of crops in western México. *Terra Latinoamericana* (39): 1-13. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.873>.

Cavalcante FL, Coelho BFT, Gustavo de luna SA, Ferreira BMA, Soares de Lima G, Raj GH, F. da silva FJ y Beckmann CMZ. 2019. Biofertilizers in horticultural crops. *Comunicata Scientiae Horticultural Journal* 10(4): 415-428. <https://doi.org/10.14295/cs.v10i4.3058>.

Del Puerto-Rodríguez AM, Suárez-Tamayo S, y Palacio-Estrada DE. 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* 52(3): 372-387.

Dzul C, Villanueva J, Campante T, y Rindermann S. 2011. Caracterización de los sistemas de producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en el estado de Jalisco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(2): 501-512.

FAO 2019. FAOSTAD, datos, cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Consultado el 09 de octubre de 2021.

FIRA (Fidecomisos instituidos en Relación con la Agricultura). 2019. Panorama agroalimentario de tomate rojo 2019. México: Resolución Técnica. 1-26. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Tomate-rojo-2019.pdf>. Consultado el 09 de octubre del 2021.

- Flores- Bernal EF, Sandoval-Villa M, Gúzman-Martínez M, Espinosa-Rodríguez M, Vázquez-Villamar M y Sabino-López JE. 2021. Estado nutrimental en el extracto celular de pecíolo y hojas de genotipos de jamaica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* Núm. Esp. II: e2928. <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2928>.
- Fortis-Hernández M, Preciado-Rangel P, García-Hernández JL, Navarro-Bravo A, González JA, Omaña-Silvestre JM. 2012. Sustratos orgánicos en la producción de chile pimiento morrón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(6): 1203-1216.
- Francis I, Holsters M, y Vereecke D. 2010. The Gram-positive side of plant–microbe interactions. *Environmental Microbiology* 12(1): 1-12. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.01989.x>
- García-Villela KM, Preciado-Rangel P, Sifuentes-Ibarra E, Salas-Pérez L, Núñez-Ramírez F, González-Fuentes JA. 2020. Ecological nutrient solutions on yield and quality of melon fruits. *Terra Latinoamericana* 38(1): 39-44.
- Gómez-Merino F, Ladewig P, Servín-Juárez R, y Trejo-Téllez L. 2017. La Producción de Tomate en México y Estados Unidos. *Revista HortiCultivos*. <https://www.horticultivos.com/cultivos/tomate/la-produccion-tomate-mexico-estados-unidos/>.
- González-Fuentes JA, Lozano-Cavazos CJ, Preciado-Rangel P, Troyo-Diéguez E, Rojas-Duarte A y Rodríguez-Ortiz JC. 2021. Fertilización orgánica contra convencional en el rendimiento, atributos morfológicos y calidad de fruto de tomate uva en un sistema de subirrigación no recirculante. *Terra Latinoamericana* 39: 1-16. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.897>.
- González-Mancilla A, Rivera-Cruz M del C, Ortiz-García CF, Almaraz-Suárez JJ, Trujillo-Narcía A, y Cruz-Navarro G. 2013. Uso de fertilizantes orgánicos para la mejora de propiedades químicas y microbiológicas del suelo y del crecimiento del cítrico Citrange troyer. *Universidad y Ciencia* 29(2): 123-139.
- González-Solano KD, Rodríguez-Mendoza M de las N, Trejo-Téllez LI, García-Cue JL, Sánchez-Escudero J. 2013. Efluente y té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema NFT. *Interciencia* 38(12): 863-869.

- Hernández-Rojas CJ, Sandoval-Castro E, Gutiérrez-Rangel N, Pineda-Pineda J, Sánchez-Vélez A y Espinoza-Hernández V. 2018. Concentración de nutrimentos en la solución nutritiva y rendimiento de "cuatomate" (*Solanum glaucescens* Zucc.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(1): 123-136. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.853>.
- Hoehne L, Altmayer T, Martini MC, Finatto J, Brietzke DT, Kuhn D, Schweizer YA, Vettorello G, Cordeiro SG, Ethur EM, Freitas EM, Severo-Filho WA. 2020. Effect of humus and soil substrates on production parameters and quality of organic strawberries. *Horticultura Brasileira* 38: 101-106. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620200116>.
- Infoagro (Información Agrícola). 2019. Importancia económica del tomate en México. Disponible: <https://mexico.infoagro.com/importancia-economica-del-tomate-en-mexico/>. Consultado el 09 de octubre del 2021.
- Lucas JP, Guevara TF, Muñoz YRM, Gómez TMI y Morales MHA. 2021. Preparación de bioles orgánicos. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 9(2): 124-136. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v9i2.369>.
- Luna-Fletes JA, Can-Chulim Á, Cruz-Crespo E, Bugarín-Montoya R y Valdivia-Reynoso MG. 2018. Intensidad de raleo y soluciones nutritivas en la calidad de tomate Cherry. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(1): 59-66. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.59-66>.
- Luna-Fletes JA, Cruz-Crespo E y Can-Chulim Á. 2021. Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate Cherry. *Terra Latinoamericana* 39: 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.781>.
- Márquez-Hernández C, Cano-Ríos P, Figueroa-Viramontes U, Ávila-Díaz JA, Rodríguez-Dimas N y García-Hernández JL. 2013. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. (PHYTON) *Revista Internacional de Botánica Experimental* 82: 55-61.
- Márquez-Quiroz C, Cano-Ríos P, Moreno-Reséndez A, Figueroa-Viramontes U, Sánchez-Chávez E, De la cruz-Lazaro E y Robledo-Torres V. (2014). Efecto de la fertilización

orgánica sobre el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(3): 279-286.

Moreno-Reséndez A, Reyes-Carrillo JL, Preciado-Rangel P, Ramírez-Aragón MG y Moncayo-Luján MDR. 2019. Desarrollo de calabacita (*Cucúrbita pepo* L.) con diferentes fuentes de fertilización bajo condiciones de invernadero. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 6(16): 145-151. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1803>.

Muñoz- Villalobos JA, Velásquez-Valle MA, Osuna-Ceja ES y Macías-Rodríguez H. 2014. El uso de abonos orgánicos en la producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 13(1): 27-32.

Ortiz FG. 2005. Bases para la elaboración de un plan de trabajo en un huerto orgánico. Indesol (Instituto Nacional de Desarrollo Social). México: Metrocert México Tradición Orgánica: pp: 1-22. <http://indesol.gob.mx/cedoc/pdf/III.%20Desarrollo%20Social/Huertos%20Familiares%20y%20Comunitarios/Manual%20de%20Huertos%20Org%C3%A1nicos.pdf>.

Preciado-Rangel P, Fortis Hernández M, García-Hernández J, Rueda Puente E, Esparza Rivera J, Lara Herrera A y Orozco Vidal J. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36(9): 689-693.

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

Rezvani MP, Feizi H y Mondani F. 2011. Evaluation of Tomato Production Systems in Terms of Energy Use Efficiency and Economical Analysis in Iran. *Notulae Scientia Biologicae* 3(4): 58-65.

Ribeiro da Cunha A, Katz I, Sousa AP y Martínez-Urbe, RA. 2015. SPAD index according growth and development of lisianthus plants in relation to different nitrogen levels under protected environment. *Idesia (Arica)* 33(2): 97-105. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000200012>

Rivera-Cruz MC. 2011. Bacterias y hongos en suelos contaminados con petróleo crudo en Tabasco. Recursos genéticos microbianos en la zona del Golfo-Sureste de México. Subsistema Nacional de Recursos Genéticos Microbianos (Surnagem) del Sistema de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (1): 77-96.

https://www.researchgate.net/publication/283152397_Bacterias_y_hongos_en_suelos_contaminados_con_petroleo_crudo_en_Tabasco

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Planeación agrícola nacional 2017-2030. México: pp: 1-20. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>

Salinas E. 2014. La agricultura orgánica como modelo alternativo. ECORFAN-Bolivia: pp: 90-105

https://www.ecorfan.org/bolivia/series/Topicos%20selectos%20de%20Recursos_V/Articulo%209.pdf.

Sánchez HDJ, Fortis HM, Esparza RJR, Rodríguez OJC, De la Cruz LE, Sánchez CE, Preciado RP. 2016. Empleo de vermicompost en la producción de frutos de melón y su calidad nutracéutica. *Interciencia* 41(3): 213-217.

Santoyo Juárez JA. 2011. Elaboración de abonos orgánicos fermentados. Campo Experimental Valle de Culiacán del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Editorial Agro Cultivos S.C de R.L de C.V. <https://www.agrosintesis.com/elaboracion-de-abonos-organicos-fermentados/>.

SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pesquera). 2022. Boletín producción mensual agrícola. México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Suárez O, Hurtado-Salazar A, Ceballos-Aguirre N. 2017. Número de racimos y la sostenibilidad económica del tomate bajo condiciones semicontroladas. *Temas Agrarios* 23(1): 55 - 61

- Terrones Cordero A, Sánchez Torres Y, Robles Francia VH y Vargas Sánchez JR. 2020. Rentabilidad económica de la producción de jitomate en valle de Tulancingo, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* (47): 595-606. 10.22004/ag.econ.308715.
- Tomek de Ponti BR y Van Ittersum MK. 2012. The crop yield gap between organic and conventional agricultura. *Agricultural Systems* (108): 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.004>.
- Torres-García A, Héctor-Ardisana EF, Fosado-Téllez O, Cué-García JL, Mero-Muñoz JA, León-Aguilar R y Peñarrieta-Bravo S. 2019. Respuesta del pimiento (*Capsicum annum* L.) ante aplicaciones foliares de diferentes dosis y fuentes de lixiviados de vermicompost. *Bioagro* 31(3): 213-220.
- Vásquez OR y M. Morales G. 2016. Abono y Fertilizante Orgánico: Alternativas Agroecológicas para Productores de Áreas Marginadas de Guerrero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Pacifico Sur, Campo Experimental Iguala: pp: 16-24.
- Vázquez-Vázquez P, García-López MZ, Navarro-Cortez MC y García-Hernández D. 2015. Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios* (36): 1351-1356.

7. CUANTIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS DE LA RIZOSFERA DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum L.*) CON MANEJO ORGANICO EN INVERNADERO

7.1 RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue cuantificar e identificar molecularmente microorganismos presentes en la rizosfera de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) con manejo orgánico en invernadero. Los tratamientos consistieron en el suministro de soluciones nutritivas de cuatro fuentes orgánicas; 1) lixiviado de humus de lombriz, 2) biol (biofermentado de estiércol de bovino), 3) biofish (fermentado de vísceras de pescado), 4) supermagro (biofermentado de estiércol de bovino y aditivos minerales). Se realizaron tres muestreos; el primero en el sustrato sin tratamiento (control), el segundo después de tratamientos en floración y el tercero en fructificación del cultivo: Se realizó la cuantificación de bacterias presentes en las muestras. La extracción de ADN se hizo con el kit Miniprep de ADN de ZymoBIOMICS®, posteriormente se realizó la identificación bacteriana mediante secuenciación del gen ARNr 16S. La densidad bacteriana en el control fue de 0.70×10^4 UFC/mL, en la etapa de floración del cultivo el lixiviado de vermicompost tuvo mayor número de colonias (2.56×10^4 UFC/ml) y el menor se presentó en el biol (0.96×10^4 UFC/mL). Mientras que en la etapa de fructificación no hubo diferencias significativas. El índice de Shannon y la riqueza bacteriana no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, los promedios indicaron alta diversidad y riqueza bacteriana. En cuanto a género, familia y orden se presentó una gran abundancia, sobresaliendo la presencia de *Pseudomonas* y *Bacillus*. La adición de abonos orgánicos favorece la presencia de microorganismos en la rizosfera de jitomate, generando las condiciones para la proliferación de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*.

Palabras claves: microorganismos, rizosfera, soluciones orgánicas, agricultura protegida

7.2 ABSTRACT

The objective of this research was to molecularly quantify and identify microorganisms present in the rhizosphere of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) with organic greenhouse management. The treatments consisted of the supply of nutritional solutions from four organic sources; 1) earthworm humus leachate, 2) biol (biofermented from bovine manure), 3) biofish (fermented from fish visors), 4) supermagro (biofermented from bovine manure and mineral additives). Three samplings were carried out; the first in the substrate without treatment (control), the second after treatments in flowering and the third in fruiting of the crop: The quantification of bacteria present in the samples was carried out. DNA extraction was done with the ZymoBIOMICS® DNA Miniprep kit, and bacterial identification was subsequently performed by sequencing the 16S rRNA gene. The bacterial density in the control was 0.70×10^4 CFU/mL, in the flowering stage of the culture, the vermicompost leachate had the highest number of colonies (2.56×10^4 CFU/mL) and the lowest number was present in the biol (0.96×10^4 CFU/mL). While in the fruiting stage there were no significant differences. The Shannon index and bacterial richness did not show significant differences between treatments, however, the averages indicated high diversity and bacterial richness. In terms of genus, family and order, a great abundance was presented, with the presence of *Pseudomonas* and *Bacillus* standing out. The addition of organic fertilizers favors the presence of microorganisms in the tomato rhizosphere, generating the conditions for the proliferation of the *Pseudomonas* and *Bacillus* genera.

Keywords: microorganisms, rhizosphere, organic solutions, protected agriculture

7.3 INTRODUCCIÓN

El consumo de hortalizas en el mundo es de gran importancia debido a que forma parte indispensable de la dieta de los seres humanos, sin embargo, uno de los factores que determina su aceptación, es su condición de inocuidad durante y después del proceso de producción (Ocaña *et al.* 2015). La producción de hortalizas en el mundo es una de las actividades en la que el hombre ha intervenido constantemente en la modificación de las condiciones en que se desarrolla la producción, innovando y haciendo cambios en la forma de generar los productos para incrementar su productividad comercial (Zayas, 2018). Esto mediante la modificación de los agroecosistemas y la creación de ecosistemas artificiales, repercutiendo directamente en la productividad, el equilibrio de la diversidad natural biológica del suelo, aire, agua, plantas, animales y la salud humana (Samaniego, 2006). En la búsqueda de incrementar el rendimiento en los cultivos se han aumentado considerablemente las dosis de fertilización, ya que los cultivos en su mayoría son muy exigentes en la demanda de fertilizantes (Naqqash *et al.* 2016). Sin embargo, sus efectos negativos se han vuelto una gran preocupación para la producción agrícola, por lo que se ha optado por alternativas que conduzcan a reducir el uso de fertilizantes sintéticos, apostando por el uso de abonos o biofertilizantes elaborados a partir de fuentes orgánicas, entre los que se encuentran las compostas, producto de la descomposición de desechos orgánicos, los biofertilizantes líquidos resultantes de la fermentación de estiércoles, desechos vegetales, u otros residuos orgánicos, caldos minerales, lixiviados, así como el uso de microorganismos benéficos (Moreno *et al.* 2018). Aunado a lo anterior, es importante conocer la diversidad de microorganismos que se encuentran asociados en la rizosfera de diferentes especies vegetales en el suelo y o sustratos usados como medio de crecimiento de los cultivos, esto en función a la innovación de los sistemas de producción actuales (Camelo, 2011). Ya que los microorganismos aportan un sin fin de beneficios al suelo; dentro de los efectos positivos más importantes son: germinación, enraizamiento, disponibilidad de nutrimentos y mejoramiento de la estructura del suelo y sustratos, también, dentro de estos se

encuentran bacterias que están presentes durante todo el ciclo de las plantas generando interacción entre ambos, lo que provoca efectos benéficos o perjudiciales en las plantas (Castellanos *et al.*, 2015). Diversos microorganismos asociados con la rizosfera promueven el desarrollo, crecimiento y funcionamiento de procesos vitales para las plantas, así como la protección contra agentes fitopatógenos, siendo indispensables en el proceso de composteo de los abonos orgánicos (Morocho y Leiva, 2019). Los biofertilizantes son fertilizantes líquidos que contienen microorganismos vivos que al ser aplicados en semillas, superficie vegetal o suelo colonizan la rizosfera o interior de la planta y promueve el crecimiento a través del incremento en el suplemento o disponibilidad de los nutrientes por el hospedero vegetal (Virgen, 2013). Estos microorganismos a su vez participan en grandes procesos como fijación de nitrógeno Grajo *et al.* (2017), solubilizadores de fosfato (Satyaprakash *et al.*, 2017), y también se relacionan con los ciclos biogeoquímicos de algunos nutrimentos para las plantas (Loredo-Osti *et al.*, 2004).

Los microorganismos que habitan los suelos son elementos importantes en los ecosistemas agronómicos, sin embargo, el estudio de la diversidad biológica de la rizosfera se ve limitado debido a que muchos microorganismos en diferentes ecosistemas no pueden cultivarse (Cordero-Ramírez *et al.*, 2012). Es importante fortalecer el conocimiento sobre la rizosfera, siendo esta esencial para la comprensión de aspectos, procesos y fenómenos importantes en la sustentabilidad agrícola y ambiental, ya que al tener una descripción más completa de la diversidad microbiana del suelo y/o sustrato se amplía el conocimiento sobre el papel de la rizosfera en los ciclos biogeoquímicos de los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas (Moreno *et al.* 2018). Las bacterias son uno de los grupos más importantes y más numerosos de microorganismos presentes en el suelo (Castellanos *et al.*, 2015). El estudio de la relación planta-microorganismos es de suma importancia, ya que permite establecer una relación entre el tipo de suelo, el genotipo o variedad vegetal y el microbioma asociado (Calvo *et al.*, 2008). A pesar que existen estudios escasos en cuanto a la diversidad de microorganismos que se encuentran relacionados con la rizosfera de distintas especies vegetales, estos

comprenden información con técnicas microbiológicas limitadas debido al gran número de microorganismos no cultivables (Cordero-Ramírez *et al.*, 2012). Bajo este contexto, el objetivo de esta investigación fue determinar la presencia de microorganismos en la rizosfera del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) fertilizado con diversos biofertilizantes orgánicos en invernadero.

7.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El experimento se estableció en un invernadero de tipo cenital cubierto con plástico blanco lechoso de 800 μm , con 70% de transmitancia y paredes con malla anti áfidos, con temperatura media de 24.5°C y humedad relativa del 57.6%. El invernadero se ubicó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, en Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México, entre las coordenadas 18° 17' 16" y 18° 19' 14" latitud *N* y 99° 26' 40" longitud *O*, a una altitud de 786 m (Nova-Muñoz *et al.*, 2011).

Diseño del experimento

Los tratamientos consistieron en el suministro de cuatro soluciones nutritivas orgánicas; 1) lixiviado de humus de lombriz, 2) biol (biofermentado de estiércol de bovino), 3) biofish (biofermentado de vísceras de pescado) y 4) supermagro (biofermentado de estiércol de bovino adicionado con sales minerales) en plantas de jitomate. En los tratamientos se usó únicamente composta como medio de crecimiento del cultivo, la unidad experimental consistió en una maceta con una planta, distribuidas en un diseño experimental completamente al azar.

Material vegetativo y trasplante

El material genético utilizado fue el Híbrido Ramses de crecimiento indeterminado; la siembra de las semillas se realizó en una charola de polipropileno de 200 cavidades, llenada con turba. Se colocó una semilla por cavidad a una profundidad

aproximada de 0.5 cm. La charola con las semillas fue regada manualmente con agua de la llave tres veces al día para mantener la humedad del sustrato. El trasplante se realizó a los 30 días después de la siembra (dds) cuando las plantas presentaron 20 cm de altura y cuatro a cinco hojas verdaderas, en bolsas de polietileno negro con volumen de 12 L, llenadas con composta elaborada por el método descrito por Ortíz (2005). La densidad de plantación consistió de 4.1 plantas m⁻². Las soluciones orgánicas se elaboraron según lo descrito por Vásquez y Morales (2016); Santoyo (2011) y Aliaga (2007) para elaboración de supermagro, biofish y biol, respectivamente; mientras que el lixiviado de vermicompost se obtuvo con un productor certificado de lombricomposta de la región.

Recolección de muestras y análisis microbiológico

Se utilizaron tres plantas por tratamiento y se colectaron tres muestras de sustrato de la rizosfera de la planta de jitomate por cada tratamiento; la muestra se depositó en vasos recolectores de muestra estériles previamente etiquetados, posteriormente estas se trasladaron al Laboratorio de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Unidad Tuxpan para su análisis. Para la determinación de la densidad bacteriana del sustrato, se realizaron tres muestreos; el primero antes de la implementación de tratamientos, utilizado como control, el segundo en etapa de floración y el tercero en fructificación del cultivo. El muestreo se realizó siguiendo la metodología propuesta por Corral-Lugo *et al.* (2012) que consistió en la recolecta de sustrato a 10 cm de profundidad, cerca de la raíz posteriormente se diluyeron 10 g de muestra en 90 mL de agua peptonada o solución salina, se dejó sedimentar, en seguida se midió 1 mL de solución y agregó en un tubo de ensaye con 9 ml de agua peptonada. Enseguida, se homogenizó y vertió a otro tubo con 9 mL de agua peptonada. Este proceso se repitió en cuatro ocasiones, para evitar sesgos. Se Inoculó por duplicado 0.1 mL de cada dilución de los medios de cultivo colocados en cajas Petrí. Se dispersó el inóculo en el medio de cultivo en cajas Petrí con una varilla o perlas de vidrio estériles. A continuación, se contabilizaron las colonias visualmente. Para calcular el número de UFC/mL en las placas se contabilizaron las colonias de cada dilución, considerando que una

colonia es igual a una UFC/mL, después se determinó el número de colonias que hubo en 1 mL de muestra y el resultado se multiplicó por el factor de dilución.

Análisis estadístico del número de colonias presentes en la rizosfera

Se hizo la comparación de las poblaciones muestreadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey con 95% de confianza. Para el análisis estadístico se utilizó el programa GraphPad Prism versión 9.3.1 (471) para Windows®.

Identificación molecular de muestras de sustrato en rizosfera

Para la extracción de ADN se utilizó el kit Miniprep de ADN de ZymoBIOMICS® diseñado para purificar el ADN de una amplia variedad de muestras para su análisis microbiológico y metagenómico.

Análisis de las secuencias

La validación de la pureza y la concentración del ADN metagenómico se realizó mediante un análisis espectrofotométrico con el equipo de Thermo Scientific™ NanoDrop™ One/One^C Espectrofotómetro de microvolúmenes de UV-Vis con Wi-Fi. La identificación bacteriana se realizó mediante secuenciación del gen ARNr 16S. Las muestras de ADN extraído se enviaron a secuenciar a la compañía Macrogen, donde se utilizó la plataforma Illumina. Los resultados de la secuenciación se procesaron en el programa QIIME v.1.8.0. Para el control de la calidad y limpieza de las secuencias se utilizó la herramienta Trimmomatic. Posteriormente se agruparon en unidades taxonómicas operacionales (OTUs) con una confianza del 97% utilizando las bases de datos del NCBI (The National Center for Biotechnology Information) y Silva (www.arb-silva.de). Se calcularon los índices ecológicos de Shannon-Wiener, Simpson, Chao1 y diversidad filogenética a través de la script Alpha_rarefaction.py y se realizó un análisis Fast UniFrac para comprobar la estructura de las comunidades considerando la distancia filogenética entre OTUs a nivel de familia. Para la diversidad filogenética se utilizó el servidor Phylogeny.fr (<http://www.phylogeny.fr>) mientras que la diversidad de género entre

las comunidades bacterianas se realizó mediante (prueba de kruskal-wallis). Los análisis de datos y gráficos se realizaron utilizando el software R (versión 4.1.1) (R, 2020). Las comunidades 16S se analizaron en términos de diversidad alfa, beta y abundancia de OTU. Las tramas se realizaron utilizando los paquetes (ggplot2) Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics, versión: 3.3.6 (Wickham, 2016) y Vegan: Paquete Ecología Comunitaria, versión 2.6-2 (Oksanen *et al.* 2022).

7.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad bacteriana de la rizosfera

En el primer muestreo realizado en la primera etapa utilizada como control presentó una densidad bacteriana de 0.70×10^4 UFC/mL, en la etapa de floración las muestras presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Figura 1), donde el lixiviado de vermicompost tuvo mayor número de colonias (2.56×10^4 UFC/ml) con respecto al biol, biofish y control, donde se detectó la menor densidad bacteriana. Con respecto a la etapa que corresponde a la fructificación no se presentaron diferencia significativa (Figura 2), sin embargo, los valores oscilaron de (0.65×10^4 UFC/mL) a (1.35×10^4 UFC/mL).

De acuerdo con Zhang *et al.* (2015) la adición de fertilizantes orgánicos aumenta la comunidad microbiana, reduce incidencia de enfermedades y promueve el rendimiento en frutos de tomate. Está comprobado que el sistema de producción intensivo afecta la diversidad microbiana del suelo y a las plantas (Garbeva *et al.*, 2006; Bever *et al.*, 2012). Vital-López *et al.* (2015) mencionan que la abundancia bacteriana puede estar en función de dos aspectos; primero la especificidad del cultivo a las comunidades microbianas en la rizosfera y el segundo relacionado con el efecto del nicho, específicamente las bacterias que habitan en la rizosfera en comparación con otro tipo de bacterias. Tales aspectos están condicionados por factores bióticos y abióticos que influyen en la estructura y diversidad de las comunidades bacterianas según el tipo de suelo y/o sustrato (Berg y Smalla., 2009).

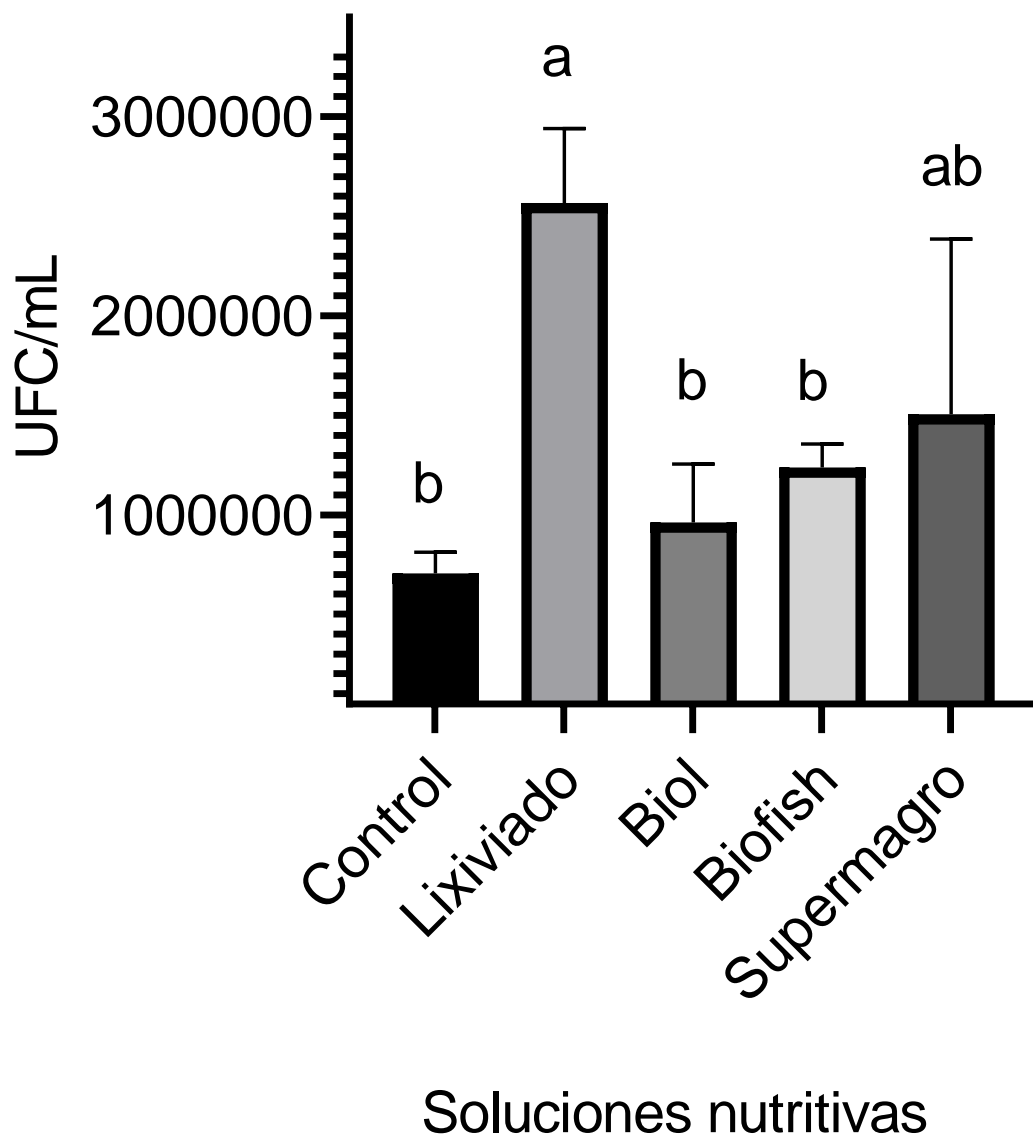


Figura 5. Densidad bacteriana de la rizosfera de plantas de jitomate en etapa de floración, cultivadas con soluciones nutritivas orgánicas. Columnas con letras iguales no son estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS= 1.2173.

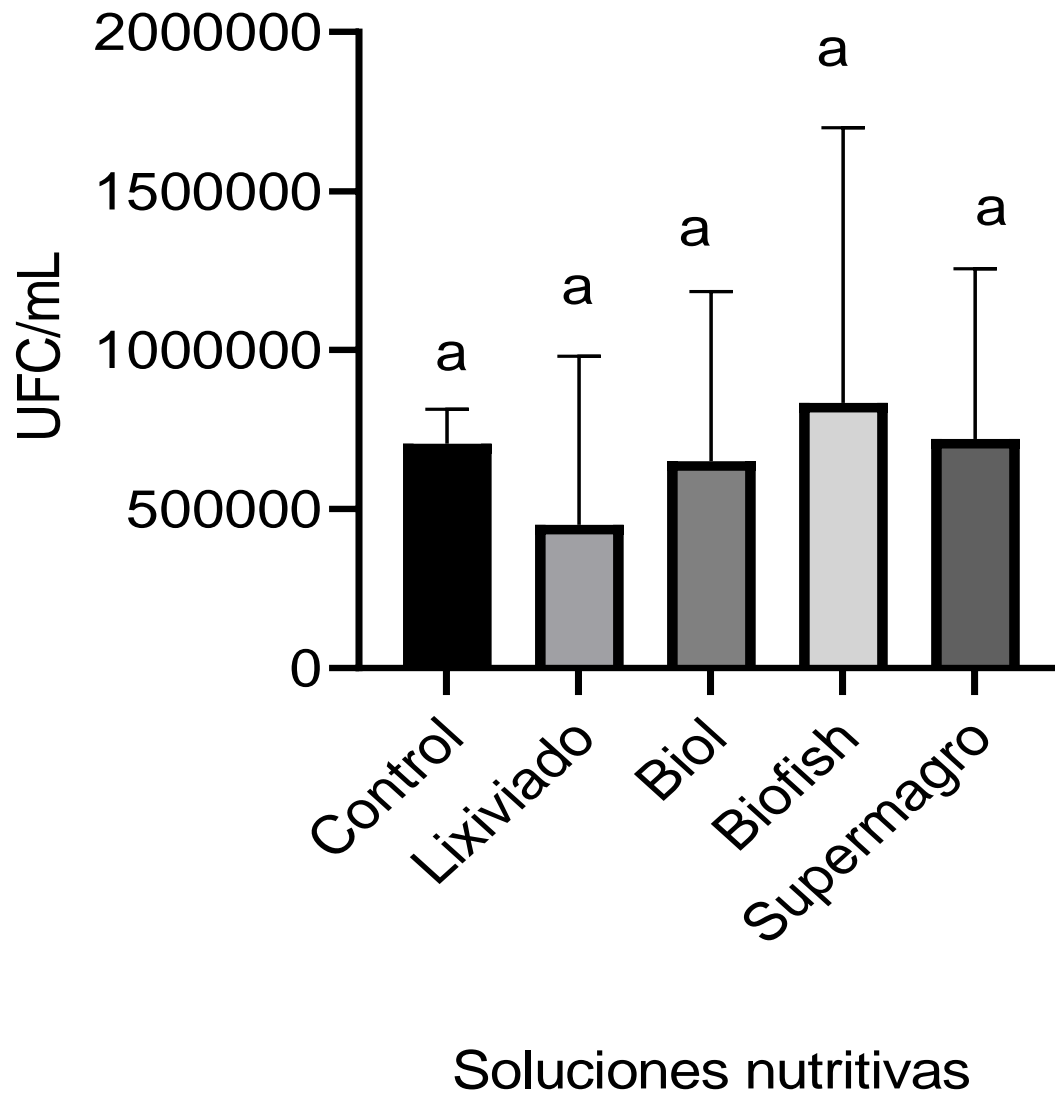


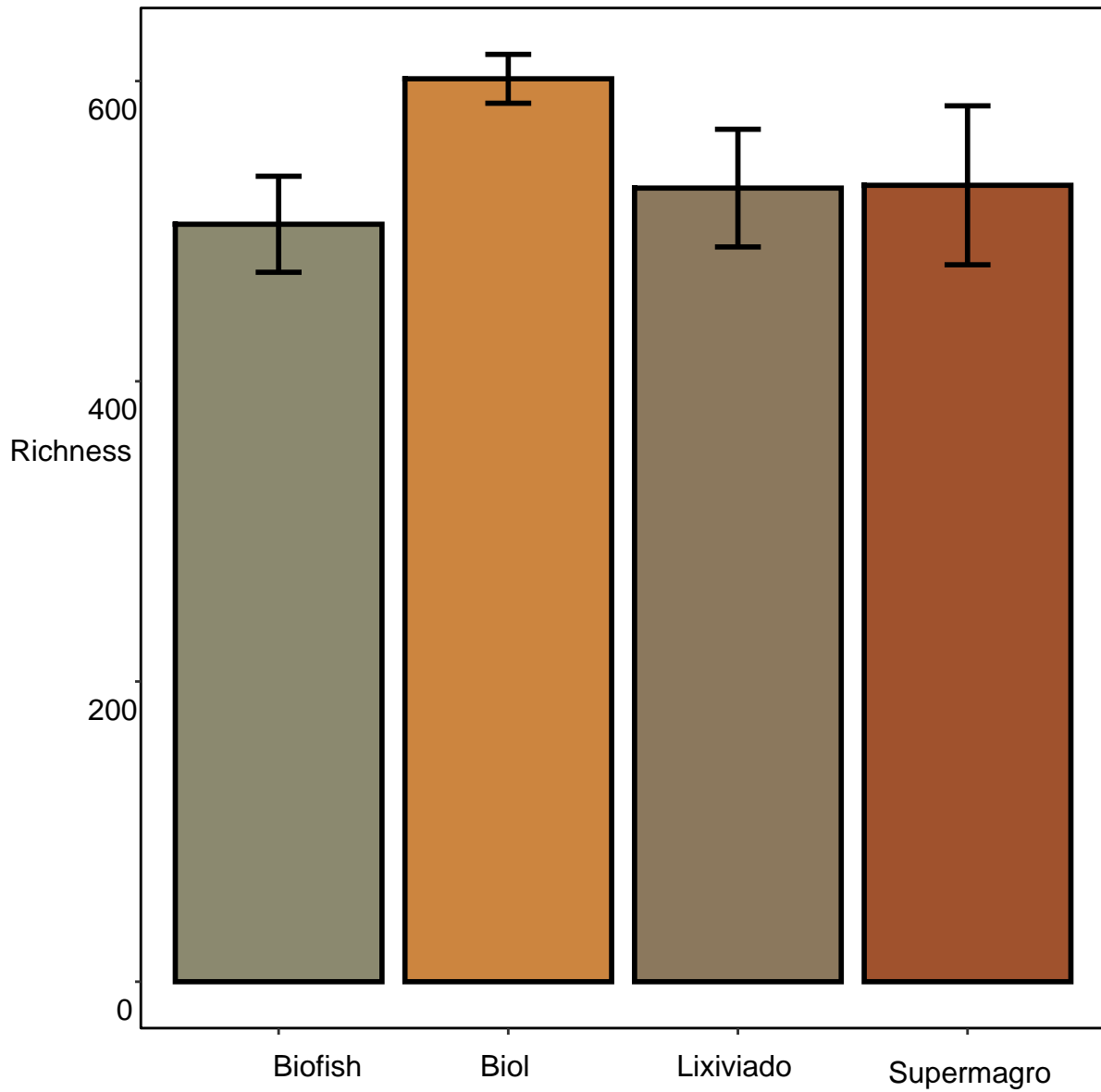
Figura 6. Densidad bacteriana de la rizosfera de plantas de jitomate en etapa de fructificación, cultivadas con soluciones nutritivas orgánicas. Columnas con letras iguales no son estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS= 1.5289.

Riqueza de especies bacterianas

La riqueza de especies bacterianas presentes en la rizosfera de plantas de jitomate no mostró diferencias entre los tratamientos con diferentes soluciones nutritivas orgánicas (Figura 4). La diversidad bacteriana del suelo/sustrato se incrementa en función de la riqueza de especies bacterianas, siendo este un factor importante en la estabilidad del ecosistema, específicamente en los niveles de orden, familia y género, según los aportes nutritivos de C, N y P que se tengan en el medio de crecimiento del cultivo, principalmente en la rizosfera (Conforto *et al.*, 2012; Zhong *et al.*, 2010). Los índices de Shannon reflejaron que la riqueza de especies puede verse afectada o no por la presencia de bacterias antagónicas y afectar su uniformidad en la rizosfera (Chen *et al.*, 2020).

Diversidad de especies en la rizosfera

Los resultados fueron mayores a cuatro de acuerdo al índice de Shannon lo cual indica que en todos los tratamientos existe una alta diversidad (Figura 3). Diversos estudios se han concentrado principalmente en especies microbianas individuales, dejando por un lado a las comunidades microbianas (Almario *et al.* 2013). Paz y Menjivar (2019) evaluaron el efecto del compost en la diversidad rizosférica del cultivo de morera (*Morus alba*), donde obtuvieron un alto índice de Shannon (8.3 y 8.57) con respecto a los obtenidos en la presente investigación, lo cual reflejó una mayor riqueza y se comprobó identificándose un mayor número de grupos taxonómico a nivel de familia y género. De igual manera, los valores del índice de Shannon y la riqueza bacteriana se puede ver influenciada por la disponibilidad de N y P en el suelo/sustrato, ya que estos nutrientes son claves en el incremento de la diversidad (Hu *et al.*, 2011; Guerrero, 2012). Aunque, la diversidad bacteriana también está asociada directamente con la supresión de enfermedades que se pueden transmitir a través del suelo (Shen *et al.* 2015).



Soluciones nutritivas

Figura 7. Riqueza de especies bacterianas presentes en la rizosfera del cultivo de jitomate con soluciones nutritivas orgánicas mediante índice de abundancia proporcional (índice de dominancia de Simpson).

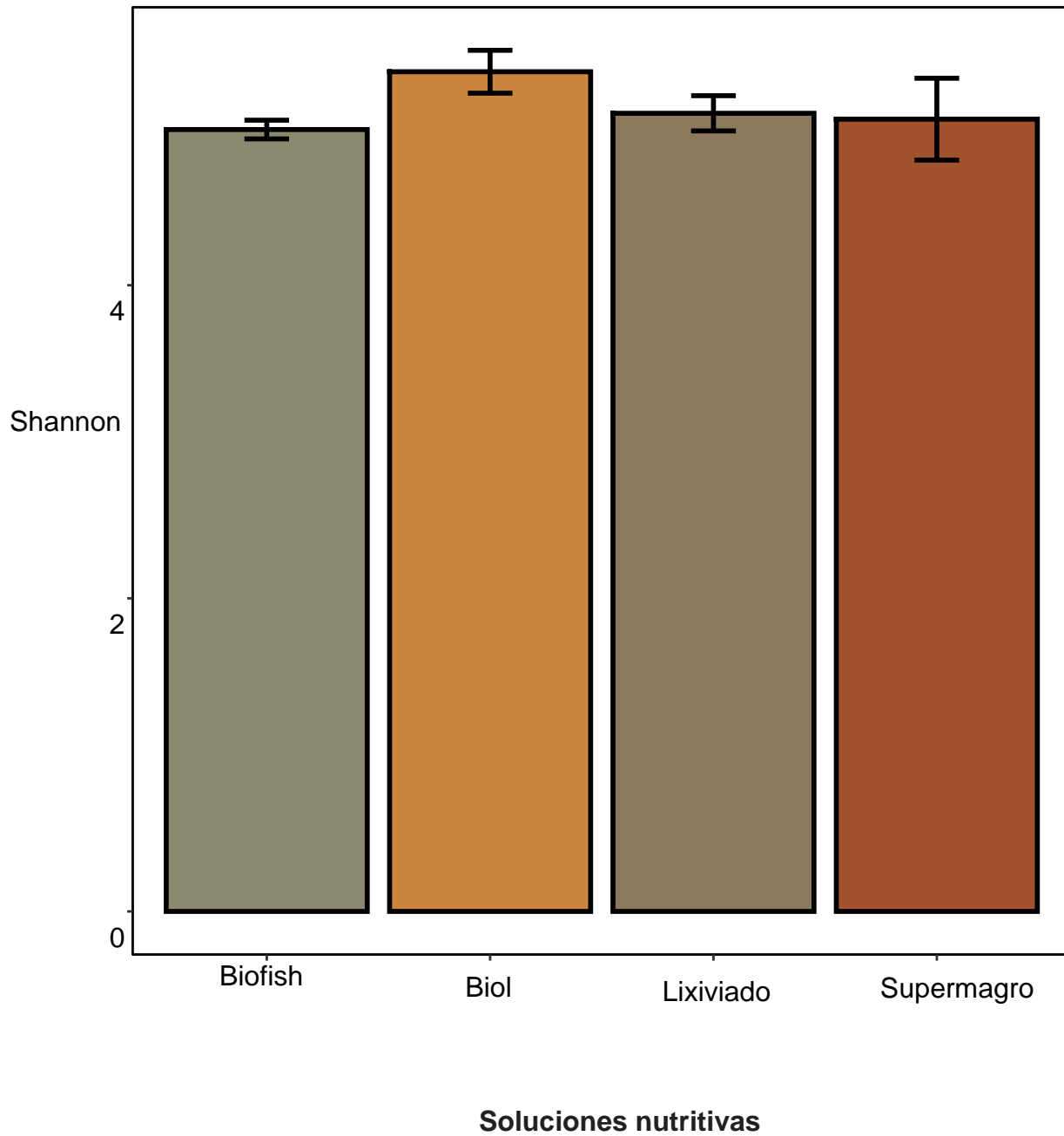


Figura 8. Diversidad de especies bacterianas presentes en la rizosfera del cultivo de jitomate con soluciones nutritivas orgánicas mediante el índice de abundancia proporcional (índice de equidad de Shannon-Wiener).

Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)

Los resultados indican que las réplicas de las muestras de biofish y lixiviado de vermicompost son similares entre sí, mientras que las muestras de biol y supermagro fueron diferentes, esto indica que la comunidad microbiana de cada muestra es distinta entre las diferentes muestras (Figura 5).

Estudios realizados Zhao *et al.* (2018), también demostraron diferencias en las estructuras de la comunidad bacteriana de los tratamientos, lo cual resultó en diferencias en la comunidad microbiana. Similarmente, Ruoyu *et al.* (2020) confirmaron que la composición taxonómica y función de las comunidades microbianas del suelo en campos de caña de azúcar, fueron diferentes, concluyendo que la adición de fertilizante orgánico es el principal factor que afecta la composición y la función en comparación con los fertilizantes sintéticos.

Ciertos indicadores del suelo influyen para evaluar la calidad e influir en la composición de las comunidades de microorganismos, por ejemplo; pH, materia orgánica, contenido de N, F y K, de acuerdo con estudios previos la adición de fertilizantes orgánicos a los suelos en la agricultura modifica las comunidades microbianas (Ye *et al.*, 2020).

La variación en la composición de la estructura de la comunidad bacteriana se relaciona directa y significativamente con las propiedades del suelo y/o sustrato, como la temperatura, humedad, carbono orgánico y nitrógeno por mencionar algunos. Trabajos realizados por Wang *et al.* (2016) sobre diferentes tipos de fertilización a en el crecimiento de trigo y arroz, detectaron que el agua, el clima y las características de crecimiento de los cultivos participan en el cambio de la estructura de las comunidades y la abundancia de los grupos bacterianos.

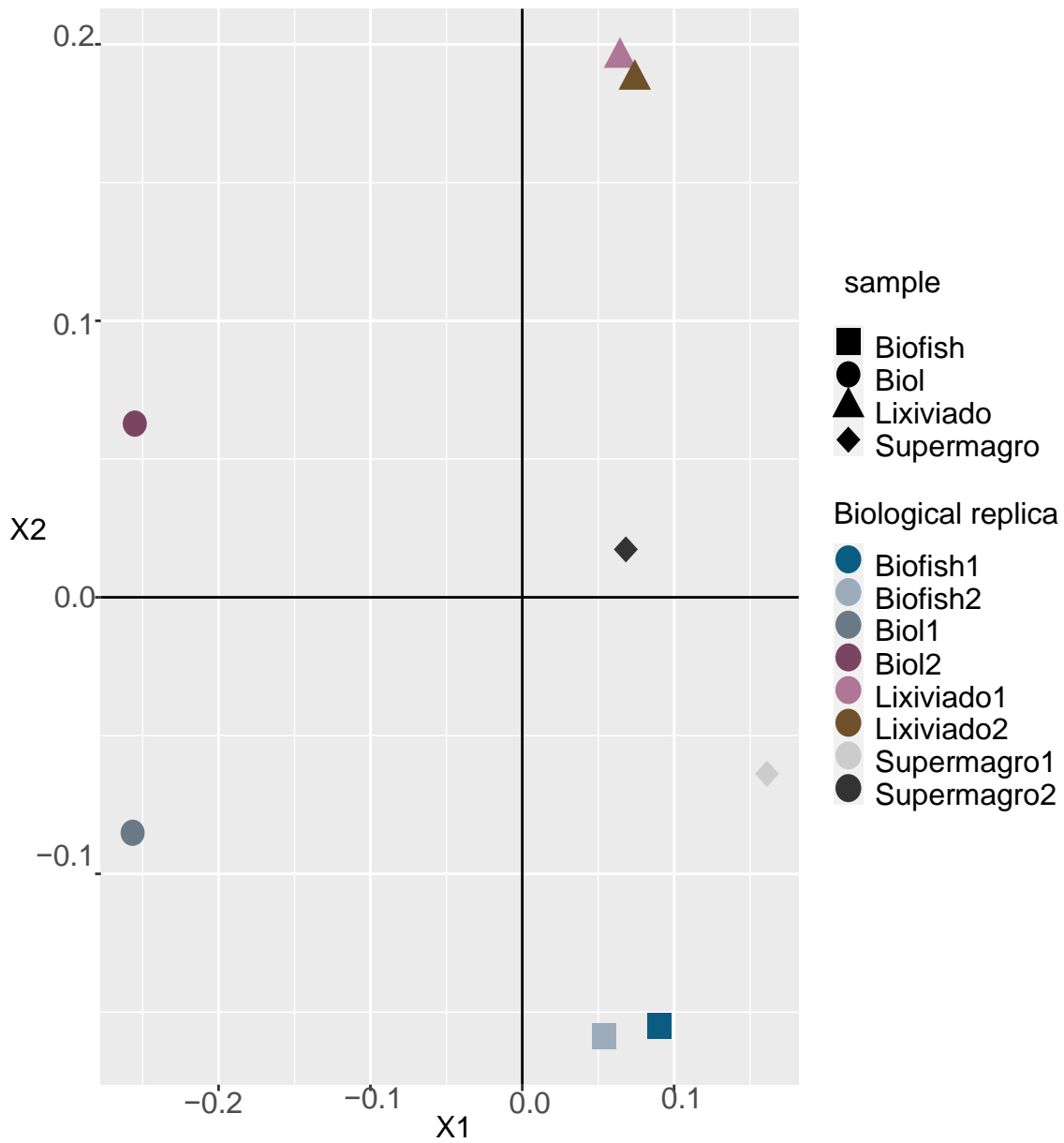


Figura 9. Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) de las comunidades bacterianas en la rizosfera de jitomate con soluciones nutritivas orgánicas, mediante medición de proximidades entre los items.

Género

Los principales géneros bacterianos encontrados en cada tratamiento fueron los siguientes (Figura 6): a) biofish: *MND1* (2.18 %), *Chryseolinea* (3.95 %), *CCD24* (2.08 %) y *Pseudomonas* (0.49 %). b) biol: *MND1* (0.90 %), *Chryseolinea* (0.85 %), *CCD24* (0.98 %) y *Pseudomonas* (1.37 %). c) lixiviado: *MND1* (4.28 %), *Chryseolinea* (3.21 %), *CCD24* (4.18 %) y *Pseudomonas* (1.43 %). d) supermagro: *MND1* (4.50 %), *Chryseolinea* (2.10 %), *CCD24* (2.44 %) y *Pseudomonas* (4.39 %).

En cuanto a género destaca la presencia de *Pseudomonas*, este es uno de los principales géneros solubilizadores de fosfatos y que pueden intervenir en otras actividades como el crecimiento vegetal, producción de citoquininas, etileno, fijación de N y resistencia a ciertos organismos patógenos del suelo (Beltrán, 2014). Estas bacterias pueden solubilizar fosfatos por su capacidad de producir ácidos orgánicos, mismos que modifican el pH, provocando la disolución de fosfatos insolubles en los suelos y/o sustratos (Goswami *et al.*, 2016). También, sobresalió el género *Bacillus*, de gran importancia debido a su capacidad de solubilizar fosfatos, como rizobacteria promotora del crecimiento vegetal ((Vital-López *et al.*, 2015).

Cabe mencionar que la alta presencia de estos dos géneros de bacterias en la rizosfera puede ocasionar efectos negativos como; la inhibición del desarrollo de la raíz primaria, la cual permitirá una absorción de agua y nutrientes que favorecerá el desarrollo y rendimiento de la planta (Corral, 2021). En otros estudios previos destaca la presencia del género *Pseudomonas* ya que comprende un grupo extenso de especies bacterianas que actúan como controladoras biológicas de fitopatógenos, presentándose en la superficie de hojas, raíces y en el suelo (Tolosa y Lizarazo, 2014).

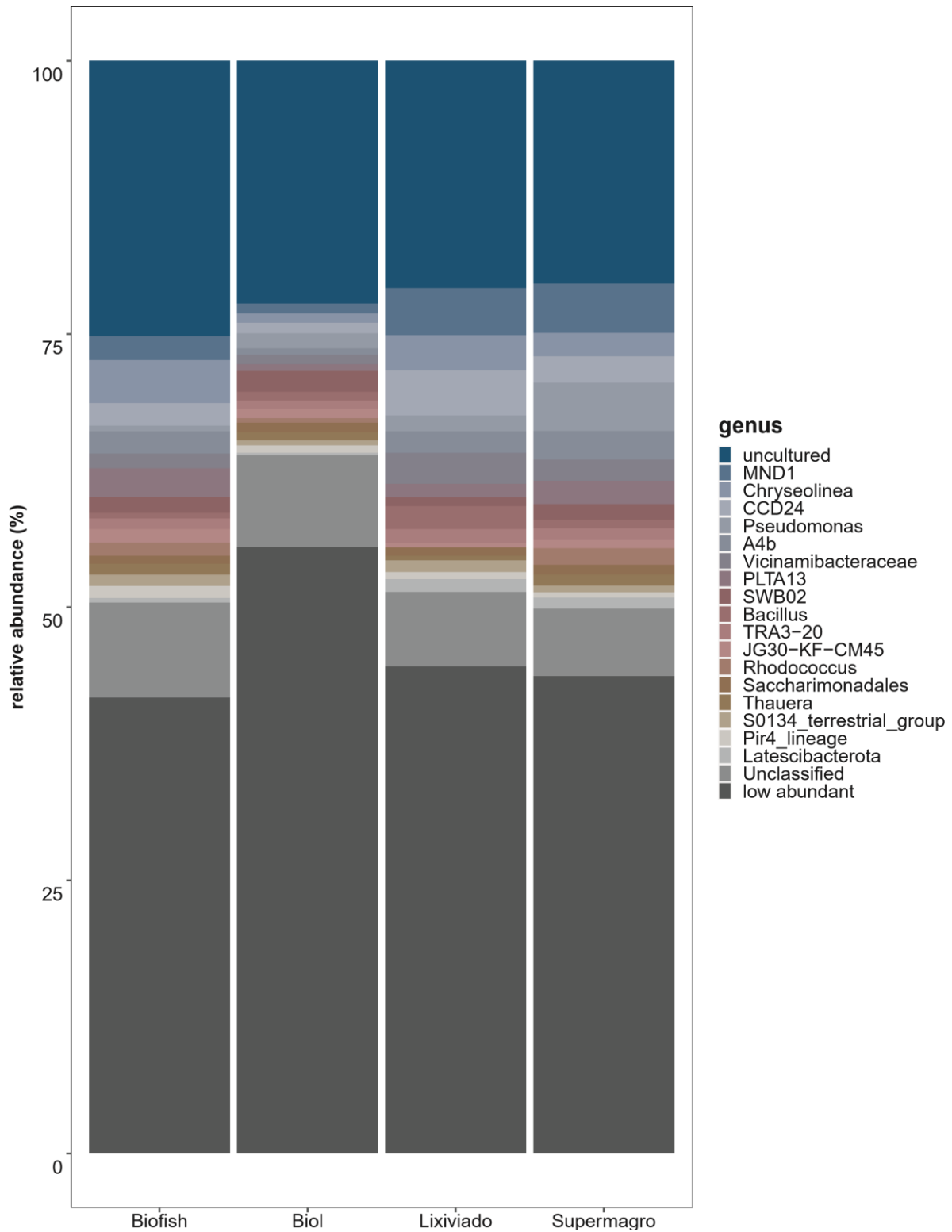


Figura 10. Abundancia relativa de los géneros de bacterias identificados en la rizosfera de plantas de jitomate con fertilización orgánica, mediante secuenciación del gen 16S DNA ribosomal.

Familia

Las principales familias bacterianas encontradas en las muestras analizadas: a) biofish: *Microscillaceae* (10.44 %), *Nitrosomonadaceae* (2.52 %), *Gemmatimonadaceae* (3.03 %) y *CCD24* (2.08 %). b) biol: *Microscillaceae* (5.57 %), *Nitrosomonadaceae* (1.24 %), *Gemmatimonadaceae* (2.31 %) y *CCD24* (0.98 %). c) lixiviado: *Microscillaceae* (6.10 %), *Nitrosomonadaceae* (4.94 %), *Gemmatimonadaceae* (2.78 %) y *CCD24* (4.18 %). d) supermagro: *Microscillaceae* (5.32 %), *Nitrosomonadaceae* (4.79 %), *Gemmatimonadaceae* (2.98 %) y *CCD24* (2.44 %).

Con respecto a la familia *Microscillaceae* encontrada en mayor abundancia en este estudio, no se ha reportado información por ser una nueva familia aún no descrita. Aunque, Hahnke *et al.* (2016) la reporta dentro de sus resultados de clasificación taxonómica basada en el genoma de *Bacteroidetes*.

También, en este estudio destacó mayor abundancia de la familia *Nitrosomonadaceae*, perteneciente al género *Nitrosomonas*, que son bacterias elipsoidales del suelo, cuya importancia recae en el ciclo del nitrógeno transformándolo de amonio (NH_4) a nitrito (NO_2^-) (Piazza, 2019).

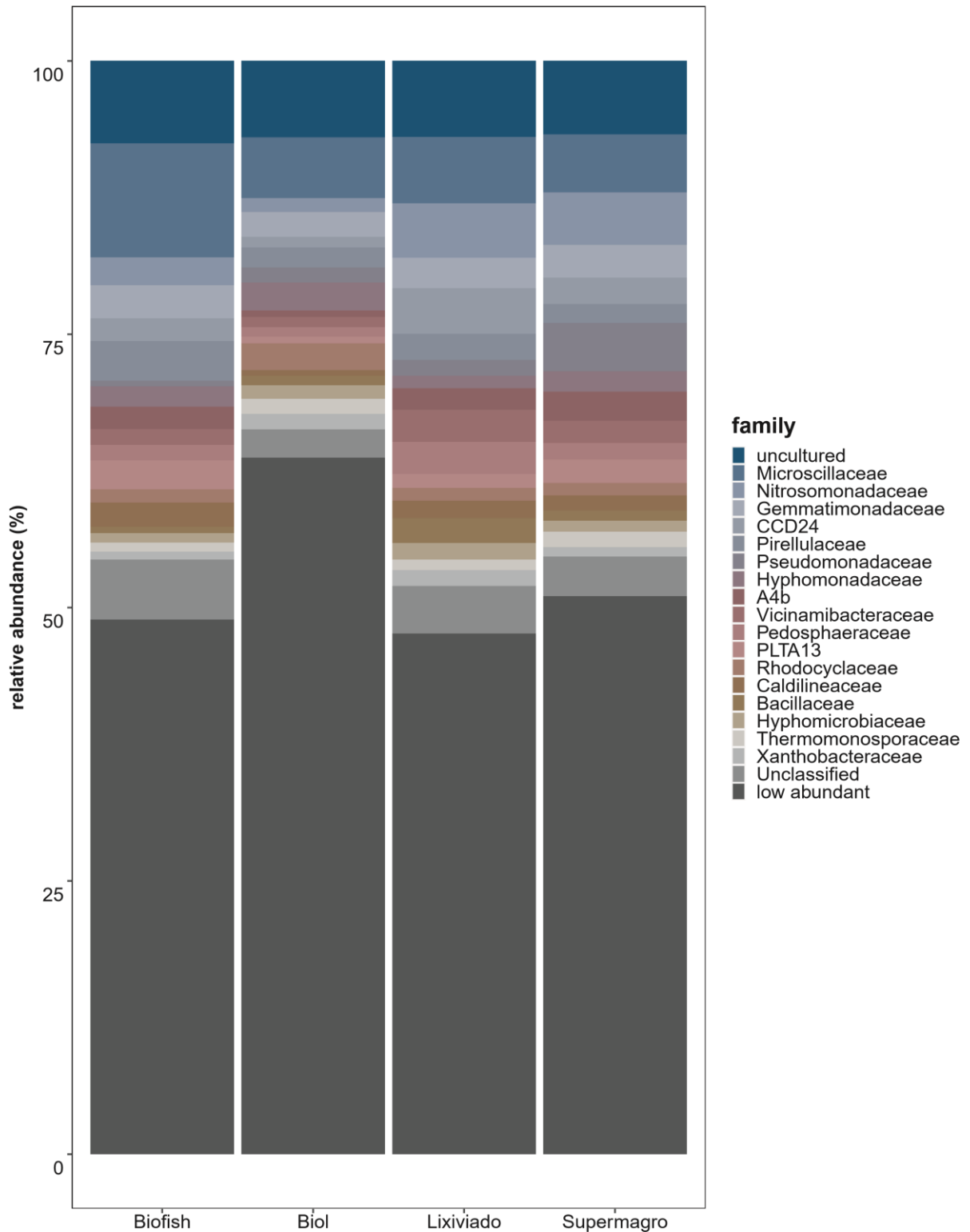


Figura 11. Abundancia relativa de las familias de bacterias identificados en la rizosfera de plantas de jitomate con fertilización orgánica, mediante secuenciación del gen 16S DNA ribosomal.

Orden

Los principales ordenes bacterianos encontrados en los tratamientos estudiados fueron: a) biofish: *Burkholderiales* (5.20 %), *Cytophagales* (10.49 %), *Rhizobiales* (4.15 %), *Vicinamibacterales* (3.80 %) y *Gemmatimonadales* (3.03 %). b) biol: *Burkholderiales* (6.95 %), *Cytophagales* (5.77 %), *Rhizobiales* (6.92 %), *Vicinamibacterales* (3.16 %) y *Gemmatimonadales* (2.31 %). c) lixiviado: *Burkholderiales* (7.82 %), *Cytophagales* (6.11 %), *Rhizobiales* (5.55 %), *Vicinamibacterales* (5.40 %) y *Gemmatimonadales* (2.78 %). d) supermagro: *Burkholderiales* (7.77 %), *Cytophagales* (5.33 %), *Rhizobiales* (4.87 %), *Vicinamibacterales* (3.99 %) y *Gemmatimonadales* (2.98 %).

Al respecto, Thies (2015) reportó la presencia del orden *Cytophagales* en su trabajo de enfoques moleculares para estudiar la biota del suelo, cuyos resultados tuvieron tendencias similares a los detectados en la presente investigación donde se hubo alto porcentaje de abundancia (10.49%).

Mientras que, Paz y Menjivar (2019) señalaron la presencia de *Xanthomonadales* (11 %), al igual que en la presente investigación se reporta dentro de los 19 órdenes más relevantes, aunque en menor porcentaje de abundancia; estos autores lo atribuyen a la presencia de nitratos en la composta, que origina la presencia de *Pseudomonas*, por ser reductoras de nitratos.

Wang *et al.* (2016) observaron la presencia del orden *Gemmatimonadales* en tratamientos con fertilización química y orgánica (para evaluar la diferencia en las comunidades bacterianas según el tipo de fertilización al suelo, estos investigadores encontraron que el aporte de materia orgánica pura se sustituyó con la fertilización química y detectaron la presencia de *Gemmatimonadales*, similar a lo encontrado en la presente investigación.

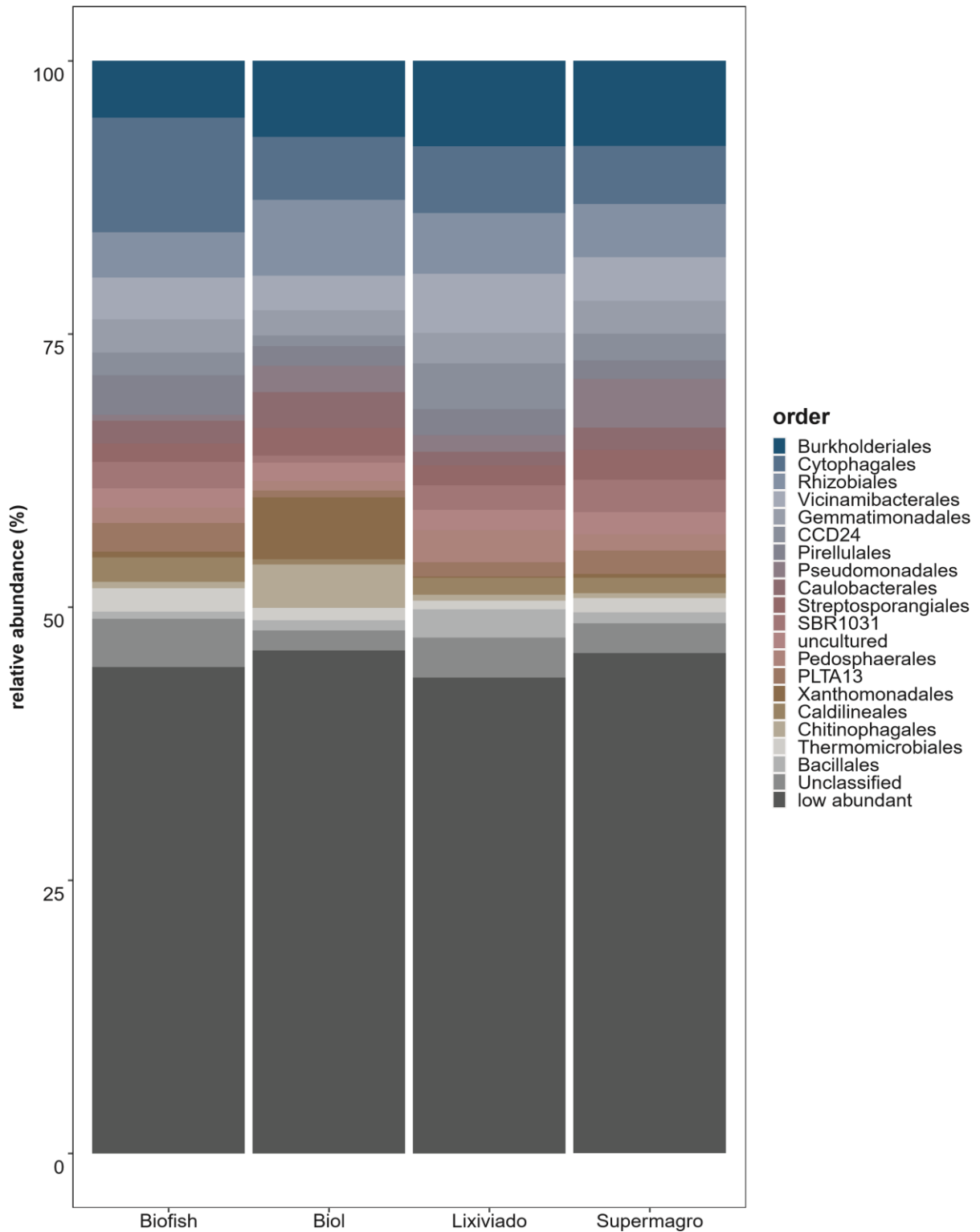


Figura 12. Abundancia relativa de los órdenes de bacterias identificados en la rizosfera de plantas de jitomate con fertilización orgánica, mediante secuenciación del gen 16S DNA ribosomal.

7.6 CONCLUSIÓN

La densidad bacteriana en la rizosfera del cultivo de jitomate disminuyó en la etapa de fructificación, mientras que las mayores UFC se observaron cuando el cultivo se fertilizó con soluciones orgánicas con lixiviado de vermicompost y biofish.

La diversidad y riqueza bacteriana no mostró diferencias entre tratamientos, sin embargo, los valores detectados se encuentran dentro del promedio considerado como alta diversidad y mayor riqueza, sobresaliendo la solución orgánica con biol. La fertilización mediante soluciones nutritivas orgánicas favoreció mayor abundancia relativa en cuanto a género, familia y orden, con el descubrimiento de nuevas especies aun no descritas.

7.7 LITERATURA CITADA

- Almario, J, Moenne-Loccoz, Y, Muller, D. (2013). Monitoreo de la relación entre las poblaciones de *Pseudomonas* productoras de 2, 4-diacetilfloroglucinol y *Thielaviopsis basicola* mediante PCR en tiempo real en suelos propicios y supresores de la pudrición de la raíz negra del tabaco. *Biología y Química del Suelo*, 57: 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.09.003>.
- Beltrán, P. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1): 101-113.
- Berg, G. y K. Smalla (2009). Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, 68: 1-13.
- Bever, J, D, Platt, T, G y Morton, E, R. (2012). Microbial population and community dynamics on plant roots and their feedbacks on plant communities. *Annu Rev Microbiol*, 66(1): 265-283. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092611-150107>.
- Calvo, V, P, Reymundo, M, L y Zúñiga, D, D. (2008) Estudio de las poblaciones microbianas de la rizosfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas Altoandinas. *Ecología Aplicada*, 7 (1,2): 141-148.
- Camelo, M, Vera S. P, y Bonilla R. R. (2011). Mecanismos De acción De Las Rizobacterias Promotoras Del Crecimiento Vegetal. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 12 (2): 159-66. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:227.
- Castellanos, S. D. E, Rincón M. J. M, y Arguello. H. (2015). Evaluación del efecto de un biofertilizante ligado a un soporte orgánico mineral en un cultivo de lechuga en la Sabana de Bogotá bajo condiciones de invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1). <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3747>.

- Chen, Y. Li, X. Li, S y Xu, Y. 2020. Nuevo proceso integrado para la producción de fertilizante bioorgánico a través del compostaje de estiércol porcino. *Environmental Engineering Research*, 26(2). <https://doi.org/10.4491/eer.2019.522>.
- Conforto, O, Correa, A, Rovea, M, Boxler, S, Rodríguez G, J, Minteguiaga, J, Meriles, J, y Vargas, G. (2012). Influencia de la fertilización inorgánica sobre la actividad microbiana del suelo. *Revista De Informaciones Agronómicas Del Cono Sur*, 8: 18-21.
- Cordero-Ramírez, J. D, López-Rivera, R, Calderón-Vázquez, C. L, Figueroa-López, A. Miguel, Martínez-Álvarez, Juan Carlos, Leyva-Madrigal, Karla Yeriana, Cervantes-Gámez, Rocío Guadalupe, y Maldonado-Mendoza, I. E. (2012). Microorganismos asociados a la rizosfera de jitomate en un agroecosistema del valle de Guasave, Sinaloa, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, Vol, 83(3): 712-730. <https://doi.org/10.7550/rmb.17897>
- Corral, F. A. G. (2021). Bioprospección y caracterización de bacterias endófitas de *Solanum hindsianum* como promotoras de crecimiento vegetal en solanáceas de interés agrícola en Baja California. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California: 1-72. https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3628/1/tesis_Ana%20Guadalupe%20Corral%20Federico_25%20oct%202021.pdf
- Corral-Lugo, A. Morales-García, Y, E. Pazos-Rojas, L, A. Ramírez-Valverde, A. Martínez-Contreras, R, D. y Muñoz-Rojas, J. (2012). Cuantificación de bacterias cultivables mediante el método de “Goteo en Placa por Sellado (o estampado) Masivo”. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(2):147-156.
- Garbeva, P, Postma, J, Van-Veen, J, A y Van-Elsas, J, D. (2006). Efecto de las especies de plantas sobre el suelo en la estructura de la comunidad microbiana del suelo y su impacto en la supresión de *Rhizoctonia solani* AG3.

Microbiol Ambiental, 8(2): 233-246. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00888.x>

Goswami, D, Thakker, JN, Dhandhukia, PC y Tejada-Moral, M. (2016). Representación de la mecánica de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR): una revisión. *Cogent Food y Agriculture*, 2(1). doi:10.1080/23311932.2015.1127500.

Grajo, R, M, Villegas, L, C, Montecillo, A, D, Trinidad, L, C, Anarna, J, A and Migo, V, P. (2017). Effect of Organic Fertilizer Amina P on the Yield of Pineapple (*Ananas comosus* L.) Merr. and Soil Microbial Population. *Philippine Agricultural Scientist*, 100: 512-520.

Hahnke, L, R, Meier-Kolthoff, J, P, García-López, M, Mukherjee, S, Huntemann, M, Ivanova, N, N, Woyke, T, Kyrpides, N, C, Klenk, H, P y Goker, M. (2016). Genome-Based Taxonomic Classification of Bacteroidetes. *Frontiers in Microbiology*, 7: 1-37. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02003>.

Loredo-Osti, C, López-Reyes, L, Espinosa-Victoria, D. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: *Terra Latinoamericana*, 22 (2): 225-239.

Moreno, R, A, García, M, V, Reyes, C, J, L, Vásquez, A, J y Cano, R, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana De Biotecnología*, 20(1): 68-83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>

Morocho, M, T y Leiva, M, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46 (2): 93-103.

Naqqash, T, Hameed, S, Imran, A, Hanif, M, K, Majeed, A and Elsas, J, D, V. (2016). Differential Response of Potato Toward Inoculation with Taxonomically Diverse Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Front Plant Sci*, 17, 7: 144. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00144>

- Ocaña-de Jesús, R, L, Gutiérrez-Ibáñez, A, T, Sánchez-Pale, J, R, Mariezcurrena-Berasain, M, D, Velázquez-Garduño, G, Laguna Cerda, A, Rojas Puebla I. (2015). Calidad microbiológica del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido bajo condiciones de invernáculo en 5 Municipios del Estado de México. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 84: 45-50.
- Oksanen, J. Gavin L. Simpson , F. Guillaume Blanchet, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Peter R. Minchin, RB O'Hara, Peter Solymos, M. Henry H. Stevens, Eduard Szoecs , Helene Wagner, Matt Barbour, Michael Bedward, Ben Bolker, Daniel Borcard, Gustavo Carvalho, Michael Chirico, Miquel De Caceres, Sebastien Durand, Heloisa Beatriz Antoniazi Evangelista, Rich FitzJohn , Michael Friendly, Brendan Furneaux, Geoffrey Hannigan, Mark O. Hill, Leo Lahti, Dan McGlenn, Marie-Helene Ouellette, Eduardo Ribeiro Cunha, Tyler Smith, Adrian Stier, Cajo JF Ter Braak, James Weedon. (2022). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-2. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>. Consultado el 20 de agosto del 2022.
- Paz, N, I, E y Menjivar, F, J, C. (2019). Efecto del compost en la diversidad de bacterias rizosférica del cultivo de morera (*Morus alba*). *Revista Colombiana De Biotecnología*, 21(1): 47-55. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.79971>
- Piazza, A. (2019). Caracterización de bacterias utilizables en procesos de biorremediación de aguas Tesis doctoral. Universidad Nacional de Rosario, Provincia de Santa Fe, Argentina: 1-168.
- R C, T. (2020). *A Language and Environment for Statistical Computing*. (R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/index.html>
- Samaniego, S, R. D. (2006). Efecto de la producción orgánica y convencional de chile dulce (*Capsicum annum*) bajo invernadero sobre el componente

planta-suelo en el cantón de Alfaro Ruíz, Costa Rica. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza: 1-92.

Satyaprakash, M, Nikitha, T, Reddi, E, U, B, Sadhana, B and Satya Vani, S. (2017). Phosphorous and phosphate Solubilising Bacteria and their Role in Plant Nutrition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4): 2133-2144. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.251>.

Shen, Z, Ruan, Y, Chao, X, Zhang, J, Li, R y Shen Q. (2015). Comunidad microbiana de la rizosfera manipulada por dos años de aplicación consecutiva de biofertilizante asociada con la supresión de la enfermedad del marchitamiento por *Fusarium del banano*. *Biol Fertil Soils*, 51(5): 553-562. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1002-7>

Thies, J, E. (2015). Molecular Approaches to Studying the Soil Biota. *In: Eldor A. Paul (ed). Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry, 4th ed.), Academic Press, pp: 151-185.*

Tolozá, M. D. L and Lizarazo, F. L. M. (2014). Microbial Populations Associated White the Rhizosphere and Phyllosphere Plants of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Revista de Ciencias*, 18(2): 27-38.

Virgen, G, C. (2013). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Cursos online INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bacterias-promotoras-del-crecimiento-vegetal>. Consultado el 03 de junio del 2022.

Vital-López, L, MA Cruz-Hernández, S Fernández-Dávila, A Mendoza-Herrera. (2015). Diversidad bacteriana en raíces de maíz híbrido convencional y genéticamente modificado. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 84: 233-243.

Wang J, Xue C, Song Y, Wang L, Huang Q y Shen Q (2016) Las etapas de crecimiento del trigo y el arroz y los regímenes de fertilización alteran la estructura de la comunidad bacteriana del suelo, pero no la diversidad. *Frente. Microbiol*, 7:1207. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01207>.

- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. (Springer-Verlag New York.
- Ye, L., Zhao, X., Bao, E. *et al.* El fertilizante bioorgánico con tasas reducidas de fertilización química mejora la fertilidad del suelo y mejora el rendimiento y la calidad del tomate. *Informe científico*, 10, 177 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56954-2>
- Zayas, B, I. (2018). El desarrollo tecnológico y la innovación como ente principal de competitividad en las empresas del sector agropecuario en el municipio de Angostura, Sinaloa. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 42: 867-877.
- Zhang, G, Liu, L, Sun, C, Liu, S, Chai, R y Huang, W. (2015). El fertilizante bioorgánico mejora la capacidad de supresión del suelo contra la marchitez bacteriana del tomate. *PLoS ONE*, 10(4): <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121304>
- Zhao, J, Liu, J, Liang, H, Huang, J, Chen, Z y Nie, Y. (2018). La manipulación de la comunidad microbiana de la rizosfera mediante la aplicación de un nuevo fertilizante bioorgánico mejora la calidad y la salud de la sandía. *PLoS ONE*, 13(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192967>.
- Zhong, W, Gu, T, Wang, W, Zhang, B, Lin, X, Huang, Q y Shen, W. (2010). The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant Soil*, 326: 511-522. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0099-6>.

8. RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) ORGÁNICO Y CONVENCIONAL EN INVERNADERO.

8.1 RESUMEN

El consumo per cápita de jitomate en México para el año 2021 fue de 13.4 kilogramos. El cultivo de jitomate en México se produce de manera convencional y orgánico, respectivamente. El objetivo fue realizar un análisis comparativo de la rentabilidad económica del sistema de producción orgánico y convencional del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en diferentes sistemas de producción en invernadero. Los tratamientos consistieron en el suministro de soluciones nutritivas; cuatro de fuentes orgánicas 1) lixiviado de humus de lombriz, 2) biol (biofermentado de estiércol de bovino), 3) biofish (fermentado de vísceras de pescado), 4) supermagro (biofermentado de estiércol de bovino y aditivos minerales), 5) solución universal Steiner en composta y solución universal Steiner en arena. Se entrevistaron ocho productores convencionales de jitomate en Chilapa de Álvarez, Guerrero, con la finalidad de comparar sus sistemas de producción con los de la presente investigación. Se calcularon los indicadores de rentabilidad (VAN, TIR, R B/C) en los sistemas de producción evaluados. Los mejores sistemas de producción de jitomate con los mejores indicadores de rentabilidad fue con la solución Steiner en arena (VAN: \$1,547,172.58; TIR:20.59%; R B/C: 1.09) y rendimiento de 5.26 kg planta¹ y en composta (VAN: \$1,573,395.29; TIR: 19.79%; R B/C: 1.07 y rendimiento de 6.41 kg planta¹). Sin embargo, el mejor rendimiento fue el del productor convencional (8 kg planta¹). Los indicadores económicos menos favorables se tuvieron en la fertilización con supermagro, biol y biofish. Comparando sistemas más rentables con el convencional del productor la diferencia es en el precio de venta, el sistema convencional puede empezar a obtener ganancias al precio de \$10.50, mientras que los sistemas con la solución de Steiner al precio de \$12.00. Los mayores costos de producción se presentaron en la agricultura orgánica respecto a la convencional del productor.

Palabras clave: rentabilidad, jitomate, orgánico, convencional.

8.2 ABSTRACT

The per capita consumption of tomato in Mexico for the year 2021 was 13.4 kilograms. Tomato cultivation in Mexico is produced conventionally and organically, respectively. The objective was to carry out a comparative analysis of the economic profitability of the organic and conventional production system of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation in different greenhouse production systems. The treatments consisted of supplying nutritive solutions; four from organic sources 1) leachate from earthworm humus, 2) biol (biofermented from bovine manure), 3) biofish (fermented from fish entrails), 4) super lean (biofermented from bovine manure and mineral additives), 5) Steiner universal solution in compost and Steiner universal solution in sand. Eight conventional tomato producers in Chilapa de Álvarez, Guerrero, were interviewed in order to compare their production systems with those of the present investigation. The profitability indicators (VAN, TIR, R B/C) were calculated in the evaluated production systems. The best tomato production systems with the best profitability indicators were with the Steiner solution in sand (VAN: \$1,547,172.58; TIR: 20.59%; R B/C: 1.09) and a yield of 5.26 kg plant⁻¹ and in compost (VAN: \$1,573,395.29; IRR: 19.79%, R B/C: 1.07 and a yield of 6.41 kg plant⁻¹). However, the best yield was that of the conventional producer (8 kg plant⁻¹). The less favorable economic indicators were found in fertilization with superlean, biol and biofish. Comparing more profitable systems with the conventional one from the producer, the difference is in the sale price, the conventional system can start making profits at the price of \$10.50, while the systems with the Steiner solution at the price of \$12.00. production were presented in organic agriculture compared to the producer's conventional.

Keywords: profitability, tomato, organic, conventional.

8.3 INTRODUCCIÓN

La producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) ha tomado gran importancia alrededor del mundo, cultivándose en aproximadamente 176 países, en donde China e India son los países más importantes tanto en superficie sembrada como en producción, concentrando el 48.6% de la superficie total cosechada y el 57.81% de la producción mundial (FAO, 2019). China es el país productor y consumidor más importante, Estados Unidos de América se ha posicionado como el principal importador y México destaca como un importante exportador de esta hortaliza (FIRA, 2017). En el 2019 México ocupó el doceavo lugar a nivel mundial en superficie cosechada con 92 993 ha, con una producción de 4 243 058 t ha⁻¹, lo que representó 1.75% de la producción global, ubicándolo en el décimo lugar de los países productores (FAO, 2019). Respecto al consumo per cápita al año de jitomate a nivel mundial, Turquía es el país que más consume con 148 kg de jitomate por persona al año, mientras que otros países han incrementado su consumo, México ha mostrado una disminución de 1.4% en los últimos años (Sánchez *et al.*, 2018). México tiene un consumo per cápita al año de 13.4 kg SIAP (2021);

China cuenta con la mayor superficie de invernaderos con más de 700 000 ha, sin embargo, el crecimiento en superficie en este país se ha detenido en los últimos años debido a una sustitución tecnológica de invernaderos de bajo nivel por estructuras de mayor tecnología (Morales *et al.*, 2017). En México la principal hortaliza que se produce bajo invernadero es el jitomate con 12 000 ha de invernaderos, además de ser la principal hortaliza para consumo nacional y para exportación, tan solo en 2020 se sembraron 45 300 ha para una producción de 3 millones 371 mil toneladas, cifra 9.5 superior al promedio de los últimos 10 años, generando beneficios económicos por hasta 1883 millones de dólares (SIAP, 2021). La superficie total sembrada de jitomate en México ha mostrado una tendencia a decrecer año con año, debido a problemas de plagas y enfermedades, mal manejo productivo, altos costos de producción, fluctuaciones en los precios y recursos hídricos limitados, lo que provoca una demanda insatisfecha de esta hortaliza incrementando el precio del producto en el mercado (Salazar *et al.*, 2017).

Por otro lado, los rendimientos promedio de producción se han incrementado debido a los avances tecnológicos y al uso de la agricultura protegida, ya que resulta ser menos susceptible a las condiciones meteorológicas; esta tecnología es usada en la producción de jitomate en México para asegurar su disponibilidad a lo largo de todo el año, siendo los estados de Sinaloa, Baja California y Jalisco donde se concentran las mayores áreas protegidas (Infoagro, 2020). La agricultura protegida es más tecnificada y costosa por las inversiones en infraestructura que representan, sin embargo, el rendimiento es mayor, además este sistema de producción propicia mejor calidad y productividad de los cultivos, estos aspectos resultan determinantes e indispensables en la rentabilidad económica de los mismos (Terrones *et al.*, 2020). Por otro lado, los productores que cultivan en campo abierto se enfrentan a problemas como: cambios climáticos, ataque de plagas y enfermedades, bajos rendimientos, así como a precios bajos debido a la mala calidad del producto y al tratar de resolverlos incurren en altos costos de operación, sin embargo, por los altos costos de inversión de la agricultura protegida los productores siguen cultivando en campo abierto (Aguilera *et al.*, 2020). Pero, según Sepat *et al.* (2013) mencionan que la producción de jitomate es rentable en cualquiera de los sistemas de producción.

Los indicadores para la evaluación económica de proyectos muestran la rentabilidad de la inversión de los mismos, y sobre todo son la base para la toma de decisiones de aceptar o rechazar la ejecución de un proyecto, ya que permiten comparar y seleccionar entre diferentes alternativas de inversión. Los indicadores más usados son aquellos que consideran el valor del dinero en el tiempo: el valor actual neto (VAN) el cual debe ser positivo, la relación beneficio-costos (B/C) mayor a uno y la tasa interna de retorno (TIR) mayor a la tasa de descuento para poder aceptar un proyecto (Baca, 2010). Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar la rentabilidad de los sistemas de producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en invernadero con prácticas de fertilización convencional y orgánica

8.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El cultivo se estableció en un invernadero tipo cenital cubierto con plástico blanco lechoso de 800 μm , con 70% de transmitancia y paredes con malla anti áfidos. El invernadero se ubicó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, en Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México, entre las coordenadas 18° 17' 16" y 18° 19' 14" latitud *N* y 99° 26' 40" longitud *O*, a una altitud de 786 m (Nova-Muñoz *et al.*, 2011).

Diseño del sistema de producción con fertilización orgánica

Los sistemas de producción consistieron en tratamientos con soluciones nutritivas; cuatro de fuentes orgánicas: 1) lixiviado de humus de lombriz, 2) biol (biofermentado de estiércol de bovino), 3) biofish (biofermentado de vísceras de pescado), 4) supermagro (biofermentado de estiércol de bovino adicionado con sales minerales), 5) solución Steiner con composta y 6) solución Steiner con arena en plantas de jitomate. El testigo positivo consistió en plantas cultivadas en composta regadas con la solución convencional (Steiner) y el testigo negativo fueron plantas en arena con la misma solución, mientras que para el resto de los sistemas con fertilización orgánica se usó únicamente composta como medio de crecimiento del cultivo, lo que generó seis tratamientos con 10 repeticiones. La unidad experimental consistió en una maceta con una planta, lo que originó 60 unidades experimentales, distribuidas en un diseño completamente al azar en el invernadero.

Material vegetativo y trasplante

El material genético utilizado fue el híbrido Ramses de crecimiento indeterminado; la siembra de las semillas se realizó en una charola de polipropileno de 200 cavidades, llenada con turba. Se colocó una semilla por cavidad a una profundidad aproximada de 0.5 cm. La charola con las semillas fue regada manualmente tres veces al día con agua de la llave para mantener la humedad del sustrato. El trasplante se realizó a los 30 días después de la siembra (dds) cuando las plantas presentaron 20 cm de altura y cuatro a cinco hojas verdaderas, en bolsas de polietileno negro con capacidad de 12 L, llenadas con composta elaborada por el método descrito por Ortíz (2005) y con arena previamente desinfectada con

hipoclorito de sodio al 5%. La densidad de plantación fue de 4.1 plantas m⁻². Las soluciones orgánicas se elaboraron según lo descrito por Vásquez y Morales (2016); Santoyo (2011) y Aliaga (2007) para elaboración de supermagro, biofish y biol, respectivamente; mientras que el lixiviado de vermicompost se obtuvo con un productor certificado de lombricomposta de la región.

Cuantificación de costos totales de producción de los sistemas de producción orgánico y convencional

Chilapa de Álvarez se encuentra ubicado entre las coordenadas 17°32'00"N 99°10'00"O, con una superficie cultivada de 72.81 ha, una producción anual de 2,102.31 t ha⁻¹ y un rendimiento de 28.87 t ha⁻¹ de jitomate de acuerdo el SIAP (2022). Para obtener la rentabilidad económica de los sistemas de producción convencional en el cultivo de jitomate en invernadero en dicho municipio, se diseñó y aplicó una encuesta durante julio a agosto del 2021 a ocho productores convencionales seleccionados de acuerdo al potencial productivo de la zona, con características similares en cuanto a las áreas de producción y cultivo para cuantificar costos, gastos e ingresos. En el cuestionario se integró variables económicas, sociales y productivas que incluyeron datos generales del productor, aspectos productivos de las unidades de producción, costos de producción, precios y comercialización.

La recolección y análisis de la información se hizo con el paquete Excel (2010), para la evaluación del proyecto se consideró la tasa de descuento de 12% recomendada por FIRA (2012), se utilizó un horizonte de cinco años para la proyección de los costos, gastos e ingresos, así como para la proyección de los indicadores de rentabilidad: TIR, VAN y R B/C siguiendo la metodología de Baca (2010). Para determinar los ingresos y costos de producción, se consideraron los costos variables (semilla, preparación del terreno, trasplante, fertilizantes, entre otros involucrados directamente con la producción) y los costos fijos (luz, mano de obra administrativa, teléfono, entre otros no involucrados con la producción) y la depreciación de los activos fijos. Se realizó un resumen de los costos de producción de cada uno de los

diferentes sistemas evaluados, con la finalidad de determinar la rentabilidad de la producción de jitomate en invernadero

Indicadores para evaluar la rentabilidad económica

Para evaluar la rentabilidad económica se utilizaron indicadores financieros para comparar y seleccionar la mejor alternativa de inversión, teniendo en cuenta los costos, ingresos y el tiempo, estos indicadores fueron: VAN, R B/C y TIR (Baca, 2010). Canales (2015) menciona que el VAN consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que se llegan a generar en un proyecto, haciendo la equivalencia con el capital inicial; el VAN debe ser mayor que cero para que se acepte el proyecto. La TIR, representa la tasa de interés a la que se le debe descontar los flujos de efectivo que se han generado durante el proceso de vida económica del proyecto para que estos puedan ser igualitarios con la inversión, si la TIR es mayor a la tasa de descuento, el proyecto se acepta. La R B/C, se realiza con base en la identificación, cuantificación y valoración de los costos y beneficios del proyecto durante las etapas de inversión y operación, estos costos y beneficios se comparan para determinar la conveniencia de realizar o no el proyecto. Si la R B/C es mayor que uno, indicará la utilidad por cada peso invertido (Morín, 2018).

8.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aspecto socioeconómico de los productores de jitomate

La edad promedio de los productores de jitomate entrevistados fue de 42 años, edad menor (54.7 años) a la reportada para campesinos en México y para el estado de Guerrero (50.9 años), pero se considera dentro de la edad económicamente productiva (FAO, 2014). Respecto a la educación (37.5% no tiene escolaridad, 25% primaria, 25% cuenta con licenciatura y el 12.5% secundaria) más de la mitad de los campesinos cuenta con educación básica esto puede tener implicaciones para la implementación y transferencia de tecnologías y el manejo administrativo de las unidades productivas; esta es una característica que se presenta en el sector primario mexicano, donde el 21.1% carece de escolaridad y el 56.6% cuenta con educación básica, reportándose en promedio 4.3 años de instrucción (FAO, 2014),

sin embargo, el 62.5% de los productores tienen más de 15 años de experiencia en el cultivo de jitomate y el 37.5% menos de 15 años, menor experiencia en comparación con lo reportado por Uzcanga *et al.*, 2015 en productores de maíz (27 años) indicando mayor experiencia en cultivos básicos que en hortalizas. El número de personas por familia osciló de cuatro a ocho integrantes, aunque, no todos los integrantes están involucrados con las actividades del campo, únicamente de uno a cuatro personas por familia participan en las actividades productivas del cultivo (comúnmente la esposa e hijos). El 100% de los productores cuentan con seguridad social (87.5% seguro popular y 12.5% IMSS), quienes mencionan que les ofrecen los servicios básicos de salud, así como lo reportaron Monsalvo-Espinosa *et al.*, (2020) para los productores de chile habanero en Campeche (el 97% cuentan con seguridad social). Por otro lado, el 75% de los productores percibe ingresos entre \$1 000 a \$5 000 M. N., rango reportado por el INEGI (2021) dentro de los ingresos que perciben las personas con primaria terminada (3517 pesos) y dentro del rango (2,057) reportado por Monsalvo-Espinosa (2020) para los productores de chile habanero. Aunado a lo anterior, se reportó un gasto promedio mensual de \$ 1 000 a 3 000 M. N., mensuales, mientras que solo el 25% tiene ingresos entre \$ 5 000 a 7 000 M. N., y un gasto promedio entre \$ 3 000 a 5 000 M. N. El 62.5% cuenta con terreno propio y el 37.5% renta la tierra para cultivar, pagando de manera anual una renta de \$ 2 500 M. N., pesos. La principal razón por la que cultivan jitomate es porque es un cultivo rentable y tienen experiencia en el mismo, el 87.5% de los productores mencionan que sus ingresos totales dependen en un 60% de este cultivo. La superficie sembrada va desde 0.25 a 0.75 ha, mucho menor a la superficie dedicada a granos básicos (5.0 ha) como el maíz (Uzcanga *et al.*, 2015) y a chile habanero (4.87 ha) (Monsalvo-Espinosa, 2020). Mientras que la FAO (2019) menciona que en zonas rurales la superficie productiva es de pequeña escala (menor a 5.0 ha), afectada por limitaciones en la conexión con las zonas de consumo, geografía montañosa y falta de infraestructura carretera y caminos rurales.

El 62.5% de los productores siembran el híbrido Ramses por ser de crecimiento indeterminado, pero el 25% optan por la variedad Palermo y el 12.5% prefieren la

variedad Villa. La densidad de plantación es de 2 400 a 7 200 plantas en superficies de 0.25 a 0.5 ha, con rendimiento promedio de 1 000 a 2 500 kg por corte, con aproximadamente 16 cortes por ciclo productivo. El 87.5% de los productores cuenta con invernadero y sistema de riego, el 12.5% tiene malla sombra y aplica riego por gravedad. Finalmente, el 62.5% no cuenta con paquete tecnológico para la producción de jitomate y el 37.5% cuenta con un paquete tecnológico proporcionado por empresas privadas dedicadas a la venta de agro insumos.

Aspectos productivos y económicos

Comparando los diferentes sistemas orgánicos y convencionales, las principales diferencias se dieron en labores de establecimiento del cultivo (Cuadro 5) con 2.94% biol, 3.80% Supermagro, 4.0% Biofish, 4.52% solución Steiner en composta, 5.82% solución Steiner en arena, 5.89% lixiviado y 7.45% productor convencional del costo total. Respecto al material de plantación representó desde el 9.21% para el productor convencional, 14.29% solución Steiner en arena, 21.74% biol, 28.06% Supermagro, 29.57% Biofish, 33.40% solución Steiner en composta y 43.44% lixiviado del costo total, control de plagas y enfermedades de 0.27% biol, 0.36% Supermagro, 0.38% Biofish, 0.43% convencional en composta, 0.55% lixiviado y solución Steiner en arena y 2.07% productor convencional del costo total. El punto fundamental de las diferencias entre los sistemas es en la fertilización, la cual puede llegar a representar un 60.91% solución Steiner en composta, 65.41% Biofish, 67.17% Supermagro, 74.56% biol, 74.85% con lixiviado, 78.38% solución Steiner en arena y 80.24% para el productor convencional.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Arce (2020) en la producción de hortalizas cultivadas de manera convencional y orgánica, quien menciona que los costos de producción son más elevados en la agricultura orgánica por la mano de obra, manejo postcosecha, comercialización y distribución, al respecto Camacho *et al.* (2015) indica que utilizar la mano de obra familiar en la agricultura orgánica se reducen los costos de producción, así como la no dependencia de insumos externos para la fertilización y el control de plagas y enfermedades (Arce, 2020).

Cuadro 5. Proyección de costos de operación en pesos MXN de los sistemas de producción de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) en invernadero.

Actividades	Invernadero						
	Productor convencional	Arena	Composta	Biol	Lixiviado	Biofish	Supermagro
Labores de establecimiento	110,100	88,080	88,080	88,080	88,080	88,080	88,080
Material de plantación	136,000	216,000	649,800	649,800	649,800	649,800	649,800
Control de plagas y enfermedades	30,600	8,315	8,315	8,315	8,315	8,315	8,315
Fertilización	1,184,747	1,184,746	1,184,746	2,228,180	2,263,200	1,437,280	1,555,240
Cosecha	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000
Total	1,476,447	1,511,462	1,944,941	2,988,375	3,023,395	2,197,475	2,315,435

El cultivo de jitomate en los diferentes sistemas de producción (Cuadros 6 al 9) muestran que los sistemas de producción en arena con solución Steiner y composta con solución Steiner fueron los mejores respecto a las ventas en comparación con los demás sistemas de producción, ya que para el primer sistema se obtuvo 5.26 kg por planta ($420,000 \text{ kg ha}^{-1}$) al año y se tomó como precio de comercialización de \$12 pesos por kg representando ingresos por ventas de \$5,040,000 pesos y para el segundo sistema se obtuvo 6.41 kg por planta ($513,176 \text{ kg ha}^{-1}$) al año y se tomó como precio de comercialización de \$ 12 pesos por kg obteniéndose ventas por \$6, 158, 112 pesos. Esto coincide con lo reportado por Mundo-Coxca *et al.* (2019), en el cultivo de jitomate donde se manejó un precio similar de comercialización, sin embargo, los mismos autores mencionan que el precio varía en función de la calidad del producto. Así mismo Terrones-Cordero *et al.* (2020) mencionan un precio de venta de jitomate de \$8.00 pesos por kg mientras que en el mercado extranjero fue de \$11.00 pesos, esto a pesar de contar con certificación de calidad para exportación a Estados Unidos de América. Por otro lado, el sistema productivo menos favorable fue la fertilización con lixiviado porque el precio de venta fue mayor (\$47.50) con bajos rendimientos ($2.29 \text{ kg planta}^{-1}$) con respecto a los demás sistemas.

En cuanto a los costos fijos no existen grandes diferencias, en cambio, en los costos variables el menor fue el productor convencional (97.75%) y los mayores fueron biol (99%), lixiviado (99%) y supermagro (99%) de los costos totales. Lo que coincide con lo reportado por Gabriel-Ortega *et al.*, (2022), quien menciona que los costos de producción en la agricultura son mayores por el uso de invernaderos altamente tecnificados con sistemas automatizados de riego, nutrición y control fitosanitario.

Cuadro 6. Proyección de estado de resultados en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en arena y composta con solución Steiner en invernadero

Arena + solución Steiner					
Conceptos (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	5,040,000.00	5,040,000.00	5,040,000.00	5,040,000.00	5,040,000.00
Costos fijos	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00
Costos variables	3,022,283.05	3,022,283.05	3,022,283.05	3,022,283.05	3,022,283.05
Costos totales	3,090,083.05	3,090,083.05	3,090,083.05	3,090,083.05	3,090,083.05
Composta + solución Steiner					
Conceptos (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	6,158,112.00	6,158,112.00	6,158,112.00	6,158,112.00	6,158,112.00
Costos fijos	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00
Costos variables	3,891,884.66	3,891,884.66	3,891,884.66	3,891,884.66	3,891,884.66
Costos totales \$	3,959,684.66	3,959,684.66	3,959,684.66	3,959,684.66	3,959,684.66

Cuadro 7. Proyección de estado de resultados en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) fertilizado con lixiviado y biol en invernadero

Lixiviado					
Conceptos (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	8,728,600.00	8,728,600.00	8,728,600.00	8,728,600.00	8,728,600.00
Costos fijos	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00
Costos variables	6,048,790.67	6,048,790.67	6,048,790.67	6,048,790.67	6,048,790.67
Costos totales	6,114,190.67	6,114,190.67	6,114,190.67	6,114,190.67	6,114,190.67
Biol					
Conceptos (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	8,620,392.00	8,620,392.00	8,620,392.00	8,620,392.00	8,620,392.00
Costos fijos	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00
Costos variables	5,978,750.67	5,978,750.67	5,978,750.67	5,978,750.67	5,978,750.67
Costos totales	6,046,550.67	6,046,550.67	6,046,550.67	6,046,550.67	6,046,550.67

Cuadro 8. Proyección de estado de resultados en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) fertilizado con biofish y supermagro en invernadero.

Biofish					
Conceptos (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	6,550,400.00	6,550,400.00	6,550,400.00	6,550,400.00	6,550,400.00
Costos fijos	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00
Costos variables	4,396,950.44	4,396,950.44	4,396,950.44	4,396,950.44	4,396,950.44
Costos totales	4,464,750.44	4,464,750.44	4,464,750.44	4,464,750.44	4,464,750.44

Supermagro					
Conceptos (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	6,893,040.00	6,893,040.00	6,893,040.00	6,893,040.00	6,893,040.00
Costos fijos	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00
Costos variables	4,632,870.67	4,632,870.67	4,632,870.67	4,632,870.67	4,632,870.67
Costos totales	4,700,670.67	4,700,670.67	4,700,670.67	4,700,670.67	4,700,670.67

Cuadro 9. Proyección de estado de resultados en la producción convencional de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en invernadero en Chilapa de Álvarez, Guerrero.

Sistema convencional del productor en invernadero					
Conceptos (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	5,760,000.00	5,760,000.00	5,760,000.00	5,760,000.00	5,760,000.00
Costos fijos	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00	67,800.00
Costos variables	2,952,894.00	2,952,894.00	2,952,894.00	2,952,894.00	2,952,894.00
Costos totales	3,020,694.00	3,020,694.00	3,020,694.00	3,020,694.00	3,020,694.00

Los indicadores financieros (Cuadro 10) de los diferentes sistemas de producción muestran que los mejores sistemas productivos fueron con la fertilización basada en la solución nutritiva de Steiner con arena y la solución de Steiner con composta, el primer sistema con una TIR 20.59%, un VAN de \$1,547,172.58 y una R B/C de 1.09, estos resultados son mayores (VAN y TIR) respecto a los obtenidos por Montoya (2016) para el mismo periodo de 5 años, en el cultivo de tomate Cherry orgánico con un VAN de \$18,479.26, TIR de 15.00% y una R B/C de 1.10. También superan lo reportado por Morales-Hernández *et al.* (2017) para el cultivo de jitomate en invernadero, con VAN de \$82,346.91, sin embargo, menores respecto a la TIR (27.62%) y R B/C (1.26). con respecto al segundo sistema solución Steiner con composta se tuvo un VAN de \$1,573,395.29, una TIR de 19.79% y una R B/C de 1.07 comparado con los resultados de Montoya (2016) son mayores en el VAN y la TIR, sin embargo, se tiene una R B/C menor en este segundo sistema.

Por su parte Vázquez-Huerta (2014), evaluaron la rentabilidad en la producción de jitomate silvestre orgánico en cubiertas plásticas de bajo costo, obteniendo un VAN de \$60,452.99, TIR de 19.03% y R B/C de 1.79, en cuanto al VAN este es menor al de los sistemas de producción obtenidos en la presente investigación, mientras que la TIR se encuentra dentro de los resultados reportados en esta investigación y la R B/C es superior a los sistemas de producción evaluados en esta investigación.

Así mismo, Castañeda (2014) evaluó la rentabilidad financiera en el cultivo de jitomate orgánico en el municipio de Coatepec Harinas, obtenido un VAN de \$2,189,188.00, TIR de 25% y R B/C de 4.21, estos indicadores son superiores a los resultados obtenidos en esta presente investigación, sin embargo, es importante mencionar que los altos indicadores financieros se deben a que el producto cosechado cuenta con certificación orgánica.

Los indicadores financieros menos favorecidos fueron el sistema de producción de jitomate mediante la fertilización con biofish con el VAN y la TIR más bajo de \$661,790.85 y 15.13% respectivamente y R B/C de 1.03, menores a los reportados por Mundo-Coxca *et al.* (2019), quienes observaron que las unidades de producción aumentan su rentabilidad conforme su nivel tecnológico para la producción del cultivo.

Respecto a los precios de venta Sánchez (2019) menciona que los precios de venta de productos orgánicos son superiores al equivalente producido de forma convencional, esto por atributos como; alimentos sanos y amigables con el medio ambiente, además que, la certificación de los productos influye en el precio de venta, similarmente. En general, la producción de tomate obtenida en agricultura protegida se comercializa a precios superiores en comparación con la producción obtenida en campo abierto (FIRA, 2017). El mayor precio de venta en la presente investigación se dio en el sistema de producción con lixiviado de vermicompost (\$47.50), superando al productor convencional (\$10.50).

Cuadro 10. Indicadores económicos y financieros VAN, TIR, RB/C para el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero

Indicadores financieros	Invernadero						
	Productor convencional	Arena + Solución	Composta + Solución	Supermagro	Lixiviado	Biol	Biofish
Precio de venta (\$)	10.50	12.00	12.00	35.00	47.50	33.00	25.00
Rendimiento (kg planta ¹)	8	5.26	6.26	2.36	2.29	3.26	3.27
VAN (\$)	1,021,256.70	1,547,172.58	1,573,395.29	810,571.53	907,359.81	839,812.71	661,790.85
TIR (%)	17.63	20.59	19.79	15.72	22.97	15.34	15.13
R B/C	1.06	1.09	1.07	1.03	1.03	1.03	1.03

8.6 CONCLUSIÓN

Con base en los sistemas de producción mediante fertilización orgánica y convencional en el cultivo del jitomate en invernadero, los mejores parámetros productivos e indicadores financieros se obtuvieron con los sistemas de producción con solución nutritiva de Steiner en arena y solución nutritiva de Steiner con composta. Por otro lado, los parámetros productivos e indicadores financieros obtenidos por el productor convencional se encuentran dentro del rango de la fertilización orgánica y con solución de Steiner.

A pesar de lo anterior, la ventaja del sistema de producción orgánica a través de la fertilización del cultivo de jitomate con fuentes naturales y soluciones nutritivas ecológicas pueden dirigirse a segmentos de mercado específicos que están dispuestos a pagar por ello, pudiendo llegar a elevar la rentabilidad del sistema productivo.

Bajo las condiciones en las que se realizó el presente estudio, el sistema de producción orgánico en un inicio puede ser de mayor costo que el sistema convencional, sin embargo, la principal ventaja es que se puede aprovechar los residuos o desechos orgánicos con los que cuentan los productores, puede ser fuente generadora de empleos en la comunidad, conservación del medio ambiente y fortalecer la integración y la economía familiar.

8.7 LITERATURA CITADA

- Aguilera M. M.E., Marina C. J.A., Palacios T. R.E., Martínez C. C.J., López L.J y Gerónimo A. V.M. 2020. Rentabilidad económica de la producción del chile habanero con mezcla de sustratos y fertilización orgánica en invernadero. *Temas de ciencia y tecnología*. 24(72): 3-8. <http://repositorio.utm.mx:8080/jspui/handle/123456789/344>
- Aliaga N. 2007. Producción de Biol Supermagro. Centro eco numérico de promoción y acción social. (Cedepas norte):1-9. Consultado 28 de mayo del 2020.
- Arce, Q. S. E. 2020. Análisis comparativo de precios y costos de producción de hortalizas cultivadas de manera orgánica y convencional. *Agronomía Costarricense*, 44 (2): 81-108. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v44n2/0377-9424-ac-44-02-81.pdf>
- Baca, U. G. 2010. Evaluación de Proyecto. México: Mc Graw Hill. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5438/1/EVALUACION%20PROYECTOS.pdf>
- Camacho, M; Arauz, K; Barboza, N; Martínez, H; Arias, J.2015. Caracterización de productores de hortalizas orgánicas distribuidas en la Gran Área Metropolitana (GAM). *Agronomía Costarricense*, 39(2):131-142.
- Canales Salinas, R. J. 2015. Criterios para la toma de decisión de inversiones. *Revista electrónica de investigación en ciencias económicas*, 3(5): 101-117. <https://doi.org/10.5377/reice.v3i5.2022>
- Castañeda, B. M. C. 2014. La exportación de tomate orgánico como alternativa de rentabilidad financiera. Caso de los productores de Coatepec Harinas. Universidad Autónoma Del Estado De México. <https://www.coursehero.com/file/131779651/LA-EXPORTACI%C3%93N->

DE-TOMATE-ORG%C3%81NICO-COMO-ALTERNATIVA-DE
RENTABILIDAD-FINANCIERA-CASO-DE-LOS-PRODUCTOR/

- FAO. 2014. Estudio sobre el envejecimiento de la población rural en México. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. Ciudad de México: 2-43.
- FAO. 2019. FAOSTAD, datos, cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#home>. Consultado el 09 de octubre de 2021.
- FIRA. (Fidecomisos instituidos en Relación con la Agricultura). 2017. Panorama agroalimentario del tomate riñón. México: Resolución Técnica: 1-25.1ed.<https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310>. Consultado el 09 de octubre del 2021.
- FIRA. (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2012. Manual del Curso de Formulación y Evaluación de Proyectos Productivos II. Guanajuato: Villadiego. Consultado el 09 de octubre del 2021.
- Gabriel- ortega, J. Cevallos, G. K. Vera, V. R, Castro, P. C. Narváez, C. W. Burgos, L. G. 2022. Evaluación y selección de híbridos de tomate *Solanum lycopersicum* L. (Mill.) en Puerto la Boca, Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 10(1): 21-31. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2022.100100021>
- INEGI. 2021. Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares en México. Comunicado de prensa Núm. 400/21.
- Infoagro. 2020. Importancia económica del tomate en México. Disponible: <https://mexico.infoagro.com/importancia-economica-del-tomate-en-mexico/>. consultado el 09 de octubre del 2021.
- Monsalvo-Espinosa J.A., Coh-Méndez D., Carrillo-Ávila E., Santillán-Fernández A., Arreola-Enríquez, J. y M.L. Osnaya-González. 2020. Características

- socioeconómicas de los productores de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq), en Campeche, México. *Agro productividad*, 13(3):47-54.
- Montoya, G. M. M. 2016. Estudio de viabilidad financiera para la producción de tomate Cherry orgánico en Zamorano y su comercialización en Orgánica Store, Tegucigalpa. *Escuela Agrícola Panamericana*: 1-21. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5872>
- Morales, H. J. L., González, R. F. J., y Hernández, M. 2017. Análisis de rentabilidad del cultivo de jitomate bajo invernadero en San Simón de Guerrero, Estado de México. *Paradigma Económico Revista De Economía Regional y Sectorial*, 2: 167-187. <https://paradigmaeconomico.uaemex.mx/article/view/9389>
- Morín Maya, E. 2018. Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión, 2018. Centro de estudios para la preparación y evaluación socioeconómica de proyectos (CEPED). https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/Guia_General_FINAL.pdf
- Mundo-Coxca, M. Jaramillo-Villanueva, J. L. Morales-Jiménez, J. 2019. Financial and Economic profitability of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production units under greenhouse in Puebla, Mexico. *Agro productividad*, 12(9): 47-52. <https://www.revistaagroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1419/1193>
- Nova-Muñoz, O, Almazán-Núñez, RC, Bahena-Toribio, R, Cruz-Palacios, MT, y Puebla-Olivares, F. (2011). Riqueza y abundancia de aves de la subcuenca de Tuxpan, Guerrero, México. *Universidad y Ciencia*, 27(3): 299-313. Recuperado en 27 de agosto de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792011000300005&lng=es&tlng=es.

- Ortiz FG. 2005. Bases para la elaboración de un plan de trabajo en un huerto orgánico. Indesol (Instituto Nacional de Desarrollo Social). México: Metrocert México Tradición Orgánica: pp: 1-22. <http://indesol.gob.mx/cedoc/pdf/III.%20Desarrollo%20Social/Huertos%20Familiares%20y%20Comunitarios/Manual%20de%20Huertos%20Org%C3%A1nicos.pdf>.
- Salazar Moreno, R., Rojano Aguilar, A., Figueroa Hernández, E., y Pérez Soto, F. R. 2017. Rentabilidad en la producción de hortalizas en ambientes controlados. Ecorfan. https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Economia%20y%20Agronomia%20T-I/HCEA_TI_1.pdf.
- Sánchez, Y., A. Terrones y M. Cruz. 2018. Sistemas regionales de innovación participativos: de la teoría a la práctica. Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA, 6 (12): <https://doi.org/10.29057/icea.v6i12.3079>.
- Sánchez, S. 2019. ¿Por qué los alimentos orgánicos son más caros que los convencionales? (en línea). Consultado 14 de septiembre. 2022. Disponible en <https://www.crhoy.com/economia/productos-organicos-por-que-son-mas-caros/#>
- Santoyo Juárez JA. 2011. Elaboración de abonos orgánicos fermentados. Campo Experimental Valle de Culiacán del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Editorial Agro Cultivos S.C de R.L de C.V. <https://www.agrosintesis.com/elaboracion-de-abonos-organicos-fermentados/>.
- Sepat, N. K., Sepat, S. R., Sepat, S., y Kumar, A. 2013. Energy use efficiency and cost analysis of tomato under greenhouse and open field production system at Nubra valley of Jammu and Kashmir. International Journal of Environmental Sciences, 3(4): 1233-1241.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Panorama Agroalimentario 2021: 92-93. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021
- SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pesquera). 2022. Boletín mensual de producción. México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Terrones Cordero, A., Sánchez Torres, Y., Robles Francia, V. H., y Vargas Sánchez, J. R. 2020. Rentabilidad económica de la producción de jitomate en valle de Tulancingo, Hidalgo, México. Revista mexicana de agronegocios, 47: 595-606. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14165939007>
- Uzcanga P. N. G., Cano G. A. J., Medina M. J. y J. J. Espinoza A. 2015. Caracterización de los productores de maíz de temporal en el estado de Campeche, México. Revista Mexicana de Agronegocios, 36: 1295-1305
- Vásquez OR y M. Morales G. 2016. Abono y Fertilizante Orgánico: Alternativas Agroecológicas para Productores de Áreas Marginadas de Guerrero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Pacifico Sur, Campo Experimental Iguala: 16-24.
- Vázquez Huerta, G., Barrios Díaz, B., Barrios Díaz, J.M., Cruz Romero, W., Berdeja Arbeu, R. 2014. Rentabilidad de la producción de jitomate silvestre orgánico (*Solanum lycopersicum* L.) en cubiertas plásticas de bajo costo. Revista Mexicana de Agronegocios, 34: 773-783. <https://doi.org/10.6088/ijes.2013030400002>

9 DISCUSIÓN GENERAL

Márquez-Quiroz *et al.* (2014) mencionan que el uso de sustratos y fertilización convencionales superan en 29.6 % los rendimientos alcanzados con fertilización orgánica, posiblemente ocasionado por algunos factores como la lixiviación y baja adsorción de los nutrimentos. Al respecto, González-Solano *et al.* (2013) obtuvieron respuesta diferente en hortalizas de hoja (*Lactuca sativa* L. cv Escala, *Coriandrum sativum* L. cv Caribe y *Ocimum basilicum* L. cv Minimum) en cultivo hidropónico, al observar mayor respuesta a la solución nutritiva de Steiner respecto al uso de soluciones orgánicas en sistema NFT, lo cual se atribuye al balance iónico que existe en dicha solución. Preciado-Rangel *et al.* (2011), señalaron que la mayor producción, rendimiento y calidad en frutos de jitomate se alcanzan con la fertirrigación mediante la solución nutritiva de Steiner, en comparación con la fertilización orgánica en condiciones de invernadero. Por su parte, Hoehne *et al.* (2020), detectaron mayor concentración de N, P y K, en frutos de fresa con manejo orgánico, respuesta que está en función de la cantidad de biofertilizante aplicado, de la biotransformación y de la liberación de nutrimentos, los cuales influyen en la calidad de los frutos. Las lecturas SPAD no fueron afectadas por las soluciones nutritivas suministradas, los resultados obtenidos oscilaron en el rango 49.64 a 52.25, con una tendencia mayor a los reportados por González-Fuentes *et al.* (2021), quienes encontraron un incremento en lecturas SPAD cuando las plantas se cultivaron con manejo orgánico.

Evidentemente lo anterior modifica el comportamiento de la dinámica poblacional de especies en el microbioma de la rizosfera, en este sentido, Pérez (2021) menciona que la diversidad bacteriana es diferente entre cada tipología de uso de suelo, por lo que los sustratos analizados presentan diferencias en la densidad, diversidad y riqueza bacteriana, debido a la adición de biofertilizantes. Barros *et al.* (2018) refiere que el manejo orgánico y rotación de cultivos genera un patrón donde la flora bacteriana se ve beneficiada y la diversidad de estas aumenta, debido a la colonización y el surgimiento de nuevas bacterias en los microhábitats (Veresoglou *et al.* 2015). Así como al tener una fuente externa de fertilización

orgánica como los restos de cosecha de los cultivos y el estiércol de ganado, este último aumenta la biomasa microbiana en el suelo y sustratos orgánicos al incrementar el contenido de carbono (Orr *et al.* (2015).

En cuanto al estudio de rentabilidad, Montoya (2016) reportó en el mismo periodo de 5 años, en el cultivo de tomate Cherry un VAN de \$18,479.26, TIR de 15.00% y RB/C de 1.10. Cabe mencionar que tanto el VAN como la TIR son menores a los datos obtenidos en la presente investigación en los sistemas de producción tanto convencional y orgánico, mientras que la RB/C fue mayor que el obtenido en los sistemas de producción convencional y orgánico. Morales-Hernández *et al.* (2017) reportaron en el estudio de rentabilidad del cultivo de jitomate en invernadero en un periodo de 5 años, un VAN de \$82,346.91, TIR de 27.62% y RB/C de 1.26, el VAN es menor al reportado en la presente investigación por los sistemas de producción, mientras que la TIR y la RB/C fue mayor que los resultados obtenidos en los sistemas de producción.

10. CONCLUSIÓN GENERAL

En la presente investigación, la producción de jitomate en composta y solución de Steiner superó en 64.2 % el rendimiento por planta y en hasta en 80.5% el rendimiento por m² con respecto al uso de soluciones nutritivas orgánicas. Dentro de las soluciones nutritivas orgánicas la mejor fue a partir de biol al ser la que más se aproximó al rendimiento del sistema convencional.

En cuanto a la densidad y caracterización de microorganismos (bacterias) asociados a la rizosfera, se observaron diferencias en las poblaciones bacterianas según la etapa fenológica del cultivo, cuya carga bacteriana de la rizosfera disminuyó conforme el desarrollo del cultivo. Posiblemente el hecho de que las plantas se establecieran en macetas y no en suelo pudo haber influido en la densidad y grupos bacterianos encontrados.

Con base en los sistemas de producción mediante fertilización orgánica y convencional en el cultivo del jitomate en invernadero, los mejores parámetros productivos e indicadores financieros se obtuvieron con los sistemas de producción con solución nutritiva de Steiner en arena y solución nutritiva de Steiner con composta. Por otro lado, los parámetros productivos e indicadores financieros obtenidos por el productor convencional se encuentran dentro del rango de la fertilización orgánica y con solución de Steiner. A pesar de lo anterior, la ventaja del sistema de producción orgánica a través de la fertilización del cultivo de jitomate con fuentes naturales y soluciones nutritivas ecológicas pueden dirigirse a segmentos de mercado específicos que están dispuestos a pagar por ello, pudiendo llegar a elevar la rentabilidad del sistema productivo.

11. LITERATURA CITADA

- Barros F, Fracetto G, Fracetto F, Mendes J, Vieira V, Lira M. 2018. Silvopastoral Systems Drive the Nitrogen-Cycling Bacterial Community in Soil. *Ciencia e Agrotecnología* 42(3):281–90.
- Calvo, V, P, Reymundo, M, L y Zúñiga, D, D. (2008) Estudio de las poblaciones microbianas de la rizosfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas Altoandinas. *Ecología Aplicada*, 7 (1,2): 141-148.
- Camelo, M, Vera S. P. y Bonilla R. R. (2011). Mecanismos De acción De Las Rizobacterias Promotoras Del Crecimiento Vegetal. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 12 (2): 159-166.
- Del Puerto-Rodríguez AM, Suárez-Tamayo S, y Palacio-Estrada DE. 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* 52(3): 372-387.
- Dzul C, Villanueva J, Campante T, y Rindermann S. 2011. Caracterización de los sistemas de producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el estado de Jalisco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(2): 501-512.
- FAO 2019. FAOSTAD, datos, cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Consultado el 09 de octubre de 2021.
- García-Villela, K. M., P. Preciado-Rangel, E. Sifuentes-Ibarra, L. Salas-Pérez, F. Núñez-Ramírez, and J. A. González-Fuentes. 2020. Ecological nutrient solutions on yield and quality of melon fruits. *Terra Latinoamericana* 38: 39-44. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.527>

- González-Fuentes JA, Lozano-Cavazos CJ, Preciado-Rangel P, Troyo-Diéguez E, Rojas-Duarte A y Rodríguez-Ortiz JC. 2021. Fertilización orgánica contra convencional en el rendimiento, atributos morfológicos y calidad de fruto de tomate uva en un sistema de subirrigación no recirculante. *Terra Latinoamericana* 39: 1-16. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.897>.
- González-Solano KD, Rodríguez-Mendoza M de las N, Trejo-Téllez LI, García-Cue JL, Sánchez-Escudero J. 2013. Efluente y té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema NFT. *Interciencia*, 38(12): 863-869.
- Grajo, M. R. D., Villegas, L. C., Montecillo, A. D. 2017. Effect of Organic Fertilizer Amina P on the Yield of Pineapple (*Ananas comosus* L.) Merr. and Soil Microbial Population. *Philippine Agricultural Scientist* 100: 12-20.
- Hoehne L, Altmayer T, Martini MC, Finatto J, Brietzke DT, Kuhn D, Schweizer YA, Vettorello G, Cordeiro SG, Ethur EM, Freitas EM, Severo-Filho WA. 2020. Effect of humus and soil substrates on production parameters and quality of organic strawberries. *Horticultura Brasileira*, 38: 101-106. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620200116>.
- Infoagro. 2020. Importancia económica del tomate en México. Disponible: <https://mexico.infoagro.com/importancia-economica-del-tomate-en-mexico/>, consultado el 09 de octubre del 2021.
- Loredo-Osti, C, López-Reyes, L, Espinosa-Victoria, D. 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: *Terra Latinoamericana*, Vol, 22 (2): 225-239.
- Márquez-Quiroz C, Cano-Ríos P, Moreno-Resénde, A, Figueroa-Viramontes U, Sánchez-Chávez E, De la cruz-Lazaro E y Robledo-Torres V. 2014. Efecto de la fertilización orgánica sobre el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(3): 279-286.

- Montoya, G. M. M. 2016. Estudio de viabilidad financiera para la producción de tomate Cherry orgánico en Zamorano y su comercialización en Orgánica Store, Tegucigalpa (Tesis de licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana: 1-21. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5872>
- Morales, H. J. L., González, R. F. J., y Hernández, M. 2017. Análisis de rentabilidad del cultivo de jitomate bajo invernadero en San Simón de Guerrero, Estado de México. *Paradigma Económico Revista De Economía Regional y Sectorial* 2: 167-187.
- Moreno, R, A, García, M, V, Reyes, C, J, L, Vásquez, A, J y Cano, R, P. 2018. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana De Biotecnología*, 20(1): 68-83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>.
- Naqqash, T, Hameed, S, Imran, A, Hanif, M, K, Majeed, A and Elsas, J, D, V. 2016. Differential Response of Potato Toward Inoculation with Taxonomically Diverse Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Front Plant Sci*, 17(7): 144. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00144>.
- Ocaña-de Jesús, R, L, Gutiérrez-Ibáñez, A, T, Sánchez-Pale, J, R, Mariezcurrena-Berasain, M, D, Velázquez-Garduño, G, Laguna Cerda, A, Rojas Puebla I. 2015. Calidad microbiológica del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido bajo condiciones de invernáculo en 5 Municipios del Estado de México. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 84: 45-50.
- Orr C, Stewart C, Leifert C, Cooper J, Cummings S. 2015. Effect of Crop Management and Sample Year on Abundance of Soil Bacterial Communities in Organic and Conventional Cropping Systems. *Journal of Applied Microbiology* 119(1):208–14
- Pérez C. A. A. 2021. Diversidad de la comunidad bacteriana edáfica y sus funciones ecológicas en diferentes usos de suelo en un paisaje andino del norte del

- Ecuador (Tesis de licenciatura). Universidad Central Del Ecuador: 1-74.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23933>.
- Preciado-Rangel P, Fortis Hernández M, García-Hernández J, Rueda Puente E, Esparza Rivera J, Lara Herrera A y Orozco Vidal J. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36(9): 689-693.
- SADER. (2020). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Jitomate Mexicano. Obtenido de SADER: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>. consultado el 05 de mayo del 2020.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Planeación agrícola nacional 2017-2030. México: 20p. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>
- Salazar Moreno, R., Rojano Aguilar, A., Figueroa Hernández, E., y Pérez Soto, F. R. 2017. Rentabilidad en la producción de hortalizas en ambientes controlados. *Ecorfan*: 1-11. https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Economia%20y%20Agronomia%20T-I/HCEA_TI_1.pdf
- Satyaprakash, M, Nikitha, T, Reddi, E, U, B, Sadhana, B and Satya Vani, S. (2017). Phosphorous and phosphate Solubilising Bacteria and their Role in Plant Nutrition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4): 2133-2144. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.251>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Atlas Agroalimentario 2019: 90-91. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Atlas-Agroalimentario-2019

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Panorama Agroalimentario 2021: 92-93. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021
- SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pesquera). 2020. Boletín mensual de producción. México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Tanya-Morocho, M, y Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46 (2): 93-103.
- Terrones Cordero, A., Sánchez Torres, Y., Robles Francia, V. H., & Vargas Sánchez, J. R. (2020). Rentabilidad económica de la producción de jitomate en valle de Tulancingo, Hidalgo, México. *Revista mexicana de agronegocios*, 47 595-606.
- Tomek de Ponti BR y Van Ittersum MK. 2012. The crop yield gap between organic and conventional agricultura. *Agricultural Systems*, 108: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.004>.
- Trujillo-Meza, Y, L, Mendoza-Nieto, E, Palomares-Anselmo, E, G, Luis-Olivas, D, B, Gomes da Silva, E, C y Fardim-Christo, B. (2022). Fuentes orgánicas y producción de papa en la región andina. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(4): 735-740.
- Vázquez Huerta, G., Barrios Díaz, B., Barrios Díaz, J.M., Cruz Romero, W., Berdeja Arbeu, R. (2014). Rentabilidad de la producción de jitomate silvestre orgánico (*Solanum lycopersicum* L.) en cubiertas plásticas de bajo costo. *Revista Mexicana de Agronegocios* 34: 773-783.
- Virgen, G, C. (2013). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Cursos online INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bacterias-promotoras-del-crecimiento-vegetal>. Consultado el 03 de junio del 2022.