



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

CENTRO DE AGROECOLOGÍA

MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

**BIOLES Y MICROORGANISMOS DE MONTAÑA LÍQUIDOS DE
AUTOPRODUCCIÓN PARA LA NUTRICIÓN AGROECOLÓGICA
DE JITOMATE EN INVERNADERO**

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

PRESENTA

ING. CRISTIAN CASTRO DÍAZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. JOEL PINEDA PINEDA

CO-DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSÉ CINCO PATRÓN IBARRA

ASESORES DE TESIS

DR. CARLOS ALBERTO CONTRERAS PAREDES

DR. ANTONINO BAEZ ROGELIO



BUAP

La presente tesis, titulada: "BIOLES Y MICROORGANISMOS DE MONTAÑA LÍQUIDOS DE AUTOPRODUCCIÓN PARA LA NUTRICIÓN AGROECOLÓGICA DE JITOMATE EN INVERNADERO", realizada por el alumno Ing. Cristian Castro Díaz, bajo la dirección del Comité Tutorial indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN
MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

COMITÉ TUTORIAL:

DIRECTOR: _____
Dr. Joel Pineda Pineda

CO- DIRECTOR: _____
Dr. José Circo Patrón Ibarra

ASESOR: _____
Dr. Antonino Báez Rogelio

ASESOR EXTERNO: _____
Dr. Carlos A. Contreras Paredes

REVISOR EXTERNO: _____
Dr. José Armando Ramírez Arias

Puebla, Pue., enero de 2024.

Agradecimientos

A la BUAP, por brindar los excelentes recursos físicos y humanos para que estudiantes como yo podamos seguir preparándonos y profesionalizándonos.

Al ICUAP y al CENAGRO, por albergar a la Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas, un posgrado que deja huella en la agroecología y en el desarrollo sostenible.

Al CONAHCYT por su apoyo mediante la beca económica que me permitió realizar mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Suelos por las facilidades brindadas para realizar los análisis de laboratorio requeridos en esta tesis.

A los doctores del MASAGRO por los conocimientos y consejos brindados, los cuales fueron de gran valía para la realización de mi trabajo de investigación.

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Eje IV. Modelo de Investigación abierta y compartida. Objetivo 13. Formar recursos humanos que impacten positivamente el contexto social y científico como consecuencia de su acción en una comunidad para lograr una educación desarrolladora de la transformación. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2021-2025.

A mi comité tutorial por su invaluable apoyo durante la investigación, redacción de la tesis y presentación de la misma; al Dr. Joel Pineda Pineda, que como Director de tesis me brindó una nueva visión sobre la nutrición del jitomate; al Dr. Antonino Báez Rogelio por darme guía dentro del mundo de la microbiología y por todas las facilidades otorgadas dentro del laboratorio a su cargo; al Dr. Carlos Alberto Contreras Paredes por sus acertados comentarios y sugerencias en la redacción de la tesis; y, de forma especial, al Dr. José Cinco Patrón Ibarra, Co-Director de tesis, por otorgarme tiempo, conocimientos y retroalimentación durante mi formación en la maestría.

Al Sr. Elías Vázquez por las facilidades brindadas para realizar el experimento en su invernadero y por su colaboración en las actividades de preparación y manejo del cultivo.

A mi mamá, que estuvo siempre atenta a los avances de mi tesis, y a mi papá por respaldarme con el tiempo necesario dentro de la empresa familiar para realizar mis estudios de posgrado.

A mi esposa Viry, por estar siempre a mi lado apoyándome en cada etapa de mi vida y mi formación; a mi hijo Luis Elías y a mi hija Valentina que me acompañaban a cosechar, cargar el jitomate y hacer anotaciones cuando me encontraba sin ayuda.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todos los compañeros agricultores que están en la búsqueda de nuevas alternativas para la nutrición de sus cultivos.

A todos los que se atreven a probar diferentes formas de producir alimentos de manera agroecológica.

A toda mi amada familia, a los Castro, a los Díaz, a los García y a los Espinosa Flores.

A Dios, por estar siempre en cada paso.

Índice General

	Página
Agradecimientos	I
Dedicatoria.....	III
Índice General.....	IV
Índice de Figuras	IX
Índice de Tablas.....	XI
Resumen	XIV
Abstract.....	XV
1. Introducción.....	1
1.1. Justificación	3
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos particulares	5
1.4. Hipótesis	6
1.5. Revisión de literatura.....	7
1.5.1. El cultivo de jitomate.....	7
1.5.2. Producción de jitomate en invernadero	8
1.5.3. Producción de jitomate orgánico	9
1.5.4. Origen y distribución del jitomate	10
1.5.5. Clasificación taxonómica del jitomate	10
1.5.6. Crecimiento y desarrollo del cultivo	11
1.5.6.1. Etapas fenológicas	11
1.5.6.2. Aspectos ambientales	12

1.5.6.3. Época de siembra.....	13
1.5.6.4. Variedades de jitomate	13
1.5.6.5. Características del suelo	14
1.5.7. Manejo del cultivo	14
1.5.8. Plagas y Enfermedades.....	16
1.5.9. Nutrición y fertilización del cultivo de jitomate.....	17
1.5.10. Agricultura agroecológica y sostenible	18
1.5.11. Biofertilizantes y su uso	20
1.5.12. Evaluación y análisis financiero del cultivo de jitomate	22
2. Materiales y métodos.....	24
2.1. Área de estudio	24
2.2. Análisis físico-químico para determinar la fertilidad del suelo.....	24
2.3. Elaboración de biofertilizantes de autoproducción y su determinación nutrimental. 25	
2.3.1. Elaboración de bioles.....	25
2.3.2. Elaboración de microorganismos de montaña líquidos.....	26
2.3.3. Determinación del contenido nutrimental de los biofertilizantes.....	28
2.4. Elaboración de la propuesta nutritiva agroecológica.....	28
2.5. Registro de las temperaturas máximas y mínimas.....	29
2.6. Variables agronómicas para evaluar los efectos sobre el uso de los biofertilizantes en el cultivo de jitomate en invernadero sembrado en suelo.....	29
2.7. Análisis químicos de solución del suelo y tejido vegetal en hoja y fruto.....	31
2.7.1. Análisis químicos de solución del suelo.....	31
2.7.2. Análisis químicos de tejido vegetal en hoja y fruto.....	32
2.8. Evaluación financiera del cultivo de jitomate en invernadero sembrado en suelo....	33
2.9. Establecimiento del experimento con producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo.....	34

2.9.1. Elección del material vegetal.....	34
2.9.2. Diseño de tratamientos	35
2.9.3. Unidades experimentales	36
2.9.4. Diseño experimental	36
2.10. Análisis estadístico de resultados	37
3. Resultados y discusión	38
3.1. Interpretación del análisis de suelo y de composta.....	38
3.2 Enmiendas adicionadas al suelo de la parcela experimental	40
3.3. Análisis nutrimental de bioles y microorganismos de montaña líquidos	41
3.4. Solución nutritiva suministrada	42
3.5. Temperaturas máximas y mínimas	44
3.6. Variables de crecimiento y desarrollo	46
3.6.1. Altura de planta	46
3.6.2. Diámetro del tallo	47
3.6.3. Materia seca en fruto	48
3.6.4. Materia seca en hoja	49
3.6.5. Materia seca en tallo	50
3.6.6. Materia seca total.....	51
3.7. Datos químicos de la solución del suelo.....	53
3.7.1. Nitrógeno (N-NH ₄ , N-NO ₃ , N-total) en la solución del suelo.....	53
3.7.2. Fósforo en la solución del suelo	55
3.7.3. Azufre en la solución del suelo.....	55
3.7.4. Cloro en la solución del suelo.....	56
3.7.5. Potasio en la solución del suelo.....	60
3.7.6. Calcio en la solución del suelo	60

3.7.7. Magnesio en la solución del suelo.....	61
3.7.8. Sodio en la solución del suelo	61
3.8. Resultados químicos del contenido nutrimental en hoja	66
3.8.1. Contenido de nitrógeno, fósforo y cloro en hoja.....	66
3.8.2. Contenido de potasio, calcio, magnesio y sodio en hoja.....	67
3.9. Resultados químicos del contenido nutrimental en fruto	70
3.9.1. Contenido de nitrógeno, fósforo y cloro en fruto	70
3.9.2. Contenido de potasio, calcio, magnesio y sodio en fruto	72
3.10. Datos de rendimiento de jitomate variedad Reserva cultivado en invernadero	74
3.10.1. Rendimiento de jitomate variedad Reserva por calibres	74
3.10.2. Rendimiento de jitomate variedad Reserva calibre extra grande (XL>70 mm)	75
3.10.3. Rendimiento de jitomate variedad Reserva calibre grande (G de 59 mm a 70 mm).....	76
3.10.4. Rendimiento de jitomate variedad Reserva calibre mediano (M de 51 mm a 60 mm).....	77
3.10.5. Rendimiento de jitomate variedad Reserva calibre chico (CH de 38 mm a 52 mm).....	78
3.10.6. Rendimiento de jitomate variedad Reserva calibre no comercial (NC<38 mm)	79
3.10.7. Rendimiento total de jitomate variedad Reserva.....	80
3.10.8. Vida de anaquel de jitomate variedad Reserva.....	82
3.11. Evaluación financiera de la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo utilizando seis diferentes tratamientos de fertilización.....	83
3.11.1. Análisis de costos e ingresos del experimento	83
3.11.2. Análisis financiero del experimento	89

3.11.3. Análisis financiero para la producción de una hectárea de cultivo de jitomate utilizando los datos obtenidos en el diseño experimental evaluado	92
4. Conclusiones.....	96
5. Bibliografía.....	97
Anexos.....	118

Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Localización del área de estudio en el estado de Tlaxcala.....	24
Figura 2. Diseño experimental dentro del invernadero en el cultivo de jitomate sembrado en suelo.....	37
Figura 3. Temperaturas máximas y mínimas registradas en el interior del invernadero y por la estación meteorológica de Apizaco, Tlaxcala	45
Figura 4. Comparación de altura de la planta (m) de jitomate en el presente experimento	47
Figura 5. Comparación de % de materia seca en hojas de plantas de jitomate en el presente experimento	50
Figura 6. Comparación de % de materia seca en tallo de plantas de jitomate en el presente experimento	51
Figura 7. Comparación de materia seca total (g) de plantas de jitomate por tratamiento en el presente experimento.....	52
Figura 8. Porcentaje de N, P y Cl en hoja de jitomate en los diferentes tratamientos.....	67
Figura 9. Porcentaje de K, Ca, Mg y Na en hoja de jitomate en los diferentes tratamientos	68
Figura 10. Porcentaje de N, P y Cl en fruto de jitomate en los diferentes tratamientos.....	71
Figura 11. Porcentaje de K, Ca, Mg y Na en fruto de jitomate en los diferentes tratamientos	73
Figura 12. Distribución del rendimiento total de jitomate (kg planta ⁻¹) por calibre de fruto y tratamiento en el presente experimento	75
Figura 13. Rendimiento de jitomate (kg planta ⁻¹) calibre grande (G de 59 mm a 70 mm) en el presente experimento	77
Figura 14. Rendimiento de jitomate (kg planta ⁻¹) calibre mediano (M de 51 mm a 60 mm) en el presente experimento	78

Figura 15. Rendimiento de jitomate (kg planta ⁻¹) calibre no comercial (NC<38 mm) en el presente experimento	80
Figura 16. Rendimiento total de jitomate (kg planta ⁻¹) variedad Reserva en el presente experimento	81

Índice de Tablas

	Página
Tabla 1. Principales enfermedades en el cultivo de jitomate y sus agentes causantes	16
Tabla 2. Coeficiente de extracción y consumo de los principales nutrientes en cultivo de jitomate sembrado en suelo en invernadero para un rendimiento de 340 ton ha ⁻¹	18
Tabla 3. Solución nutritiva de Steiner con relación mutua entre aniones y cationes para la nutrición del cultivo de jitomate (meq L ⁻¹).....	18
Tabla 4. Determinación de parámetros físico-químicos y técnicas para análisis de fertilidad de suelo.....	25
Tabla 5. Determinación de parámetros químicos y técnicas para el análisis específico de los elementos nutritivos de los bioles y microorganismos de montaña líquidos.....	28
Tabla 6. Variables agronómicas evaluadas y métodos de medición en el cultivo de jitomate en invernadero	30
Tabla 7. Variables químicas evaluadas en la solución del suelo y métodos de medición... 31	31
Tabla 8. Variables químicas evaluadas en tejido vegetal de hoja y fruto y métodos de medición	33
Tabla 9. Variables financieras evaluadas y métodos de medición en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo.....	34
Tabla 10. Descripción de los tratamientos de fertilización utilizados en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo	35
Tabla 11. Características físicas, químicas, rangos e interpretación del suelo del invernadero utilizado como parcela experimental en Xaloztoc, Tlaxcala.....	39
Tabla 12. Características físicas, químicas, rangos e interpretación de la composta aplicada como enmienda al suelo del invernadero utilizado como parcela experimental en Xaloztoc, Tlaxcala	40
Tabla 13. Enmiendas orgánicas y minerales adicionadas al suelo de la parcela experimental	41

Tabla 14. Análisis nutrimental de biofertilizantes a base de bioles y microorganismos de montaña líquidos en el presente experimento	42
Tabla 15. Nivel de extracción de nutrimentos, requerimientos nutricionales y concentración de la solución nutritiva para el cultivo de jitomate en invernadero en suelo con un rendimiento estimado de 192 ton ha ⁻¹ con base a Castellanos <i>et al.</i> (2004) ajustando solución nutritiva de Steiner (1984)	43
Tabla 16. Soluciones nutritivas empleadas por tratamiento para cada 1,000 L de agua de riego suministrada en la producción de jitomate en invernadero cultivado en suelo en el presente experimento.....	44
Tabla 17. Comparación de diámetro medio del tallo (mm) en planta de jitomate en el presente experimento	48
Tabla 18. Comparación de % de materia seca en fruto de jitomate en el presente experimento	49
Tabla 19. Amonio (NH ₄) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L ⁻¹)	57
Tabla 20. Nitratos (NO ₃) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L ⁻¹)	57
Tabla 21. Nitrógeno total (N-Total) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L ⁻¹)	58
Tabla 22. Fósforo (P) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L ⁻¹).....	58
Tabla 23. Azufre (S) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L ⁻¹)	59
Tabla 24. Cloruros (Cl) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L ⁻¹).....	59
Tabla 25. Potasio (K) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L ⁻¹).....	63
Tabla 26. Calcio (Ca) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L ⁻¹).....	63
Tabla 27. Magnesio (Mg) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L ⁻¹)	64
Tabla 28. Sodio (Na) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L ⁻¹)	64
Tabla 29. Rendimiento total de jitomate producido bajo invernadero sembrado suelo y clasificado por calibres de fruto de acuerdo a NMX-FF-031-1997.....	75

Tabla 30. Rendimiento de jitomate (kg planta ⁻¹) calibre extra grande (XL>70 mm) en el presente experimento.....	76
Tabla 31. Rendimiento de jitomate (kg planta ⁻¹) variedad Reserva calibre chico (CH de 38 mm a 52 mm) en el presente experimento.....	79
Tabla 32. Vida de anaquel de jitomates (días) variedad Reserva en los 6 tratamientos evaluados en el presente experimento	83
Tabla 33. Costos variables en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo utilizando seis tratamientos diferentes de fertilización.....	85
Tabla 34. Costos variables en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo utilizando seis tratamientos diferentes de fertilización.....	86
Tabla 35. Rendimiento de jitomate (kg tratamiento ⁻¹) en invernadero sembrado en suelo utilizando seis tratamientos con diferentes fuentes de fertilización	87
Tabla 36. Precios de venta de jitomate en invernadero tipo saladette reportados por el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados para la Central de Abastos de Puebla	87
Tabla 37. Ingresos en pesos mexicanos por la venta de jitomate en fresco tipo saladette producido en invernadero en suelo en el presente experimento.....	88
Tabla 38. Análisis financiero realizado a la producción de jitomate en invernadero en suelo utilizando bioles y microorganismos de montaña líquidos de autoproducción para su nutrición agroecológica	91
Tabla 39. Análisis financiero realizado a la producción de jitomate en invernadero en suelo en una hectárea utilizando bioles y microorganismos de montaña líquidos de autoproducción para su nutrición agroecológica.....	94

Resumen

Esta investigación evaluó un modelo de nutrición agroecológico utilizando bioles y microorganismos de montaña líquidos (MML) de elaboración artesanal, con la finalidad de sustituir parcialmente el uso de fertilizantes químicos en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo en el municipio de Xaloztoc, Tlaxcala, México. El experimento consistió en tres etapas: 1. Elaboración de cuatro bioles y cuatro MML con diferentes formulaciones minerales (P, K, Ca, Mg); 2. Determinación del contenido nutrimental del cultivo, a partir del análisis de fertilidad del suelo, la composta utilizada y los nutrientes en los biofertilizantes, además de considerar la extracción de nutrientes del cultivo de jitomate para una meta de rendimiento de 192 ton ha⁻¹; y 3. Diseño de una mezcla de fertilización con bioles y MML contemplando un balance iónico de 10 meq (P=0.75 meq, Ca=4.5 meq, K=3.5 meq, Mg=2 meq). Se analizó el efecto de seis tratamientos de fertilización: T1-Biol, T2-MML, T3-Biol+50% FQ, T4-MML+50% FQ; T5-FQ; T6-SA. Se evaluaron variables agronómicas (altura de la planta; diámetro del tallo; peso seco en fruto; hoja, tallo y total; tamaño de fruto y rendimiento por calibre; rendimiento total de jitomate); variables químicas en tejido vegetal y en la solución del suelo (N-NO₃, N-NH₄, N-total, P, S, Cl, K, Ca, Mg y Na); y variables financieras (costos de producción, Punto de Equilibrio, R B/C, VPN, TIR). Los resultados mostraron que T3 no presentó diferencias estadísticas significativas en comparación a T5 en cuanto al rendimiento total (4.15 kg planta⁻¹), vida de anaquel (46 días), altura de planta (1.6 m), diámetro de tallo (14.13 mm), peso seco en hoja (12.1%), tallo (15.6%) y fruto (4.72%). Además, T3 obtuvo un rendimiento financiero (TIR= 29.26%) similar a la T5 (TIR=35.79), con un ahorro del 50% de fertilización química.

Abstract

This research evaluated an agroecological nutrition model using bioles and mountain liquid microorganisms (MML) produced artisanally, with the aim of partially replacing the use of chemical fertilizers in soil-grown greenhouse tomato production in the municipality of Xaloztoc, Tlaxcala, Mexico. The experiment consisted of three stages: 1) Production of four bioles and four MML with different mineral formulations (P, K, Ca, Mg); 2) Determination of the crop's nutrient content based on soil fertility analysis, the compost used, and the nutrients present in the biofertilizers, in addition to considering nutrient extraction from the tomato crop for a yield goal of 192 ton ha⁻¹; and 3) Design of a fertilization mixture with bioles and MML, ensuring an ionic balance of 10 meq (P=0.75 meq, Ca=4.5 meq, K=3.5 meq, Mg=2 meq). The effect of six fertilization treatments was analyzed: T1-Biol, T2-MML, T3-Biol + 50% FQ, T4-MML + 50% FQ, T5-FQ, T6-Water Only (SA). Agronomic variables were evaluated (plant height, stem diameter, dry weight in fruit, leaf, stem, and total; fruit size and yield by size; total tomato yield), as well as chemical variables in plant tissue and soil solution (N-NO₃, N-NH₄, Total N, P, S, Cl, K, Ca, Mg y Na), and financial variables (production costs, breakeven point, B/C ratio, NPV, IRR). The results showed that T3 presented no statistically significant differences compared to T5 in terms of total yield (4.15 kg plant⁻¹), shelf life (46 days), plant height (1.6 m), stem diameter (14.13 mm), dry weight in leaves (12.1%), stem (15.6%), and fruit (4.72%). Additionally, T3 achieved a financial yield (IRR = 29.26%) similar to T5 (IRR=35.79), with a 50% reduction in chemical fertilization costs.

1. Introducción

La nutrición es uno de los aspectos más importantes para el desarrollo de las plantas, ya que consiste en el suministro, absorción y asimilación de los elementos químicos requeridos por estas (Menguel y Kirkby, 2000; Azcón y Talón, 2008; Fageria, 2009). Derivado de esta área del conocimiento, la agroindustria ha aprovechado los descubrimientos científicos relacionados con la nutrición y fertilidad de los cultivos poniendo a disposición de los productores agrícolas fertilizantes químicos que proveen de los nutrientes esenciales que las plantas requieren para su desarrollo (Cerisola, 2015; FAO, 2021). No obstante, su uso irracional ha provocado un desequilibrio en el agroecosistema contaminando el suelo y el agua; además, de haberse convertido en un hábito que ha hecho dependientes de esta clase de productos a los cultivos y a los productores (Barg y Queirós 2012; Sarandón y Flores, 2014).

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas cuya producción requiere una gran cantidad de agroquímicos (Castellanos, 2009; Preciado *et al.*, 2011), esto se debe a que es un cultivo con altos requerimientos nutrimentales (Molina, 2002; FAO, 2017; Rusinque, 2021) y con una gran demanda y producción a nivel mundial (CEDRSSA, 2020). Desde el enfoque productivista de la agroindustria, el único modo de garantizar grandes volúmenes de producción es mediante el uso de fertilizantes y productos químicos (Huang *et al.*, 2002; Gaspar, 2010; González, Lazcano, *et al.*, 2021).

Investigaciones científicas (Steiner, 1961; Davies *et al.*, 1981; Steiner 1984; Herrera, 1999; Sainju, 2003; Passam, 2007) y la industria de los fertilizantes (SQM, 2006; Haifa, 2014) han generado información sobre la cantidad de minerales y sus combinaciones con el fin de proporcionar una fertilización equilibrada para cada etapa fenológica del cultivo de jitomate, siendo administrada al suelo o en diferentes sustratos (Raviv *et al.*, 2019; Monsalve *et al.*, 2021); Por ello, que la agricultura industrial promueve el uso de fuentes químicas de fertilización con la finalidad de cubrir el requerimiento nutrimental del cultivo (Cantuña, 2013; López, 2017).

Debido a la dependencia en el uso de fertilizantes químicos para la nutrición del cultivo de jitomate y a los impactos ambientales, económicos y sociales negativos que genera, es necesario plantear un nuevo modelo de nutrición agroecológico que permita a las plantas de jitomate alcanzar un crecimiento, desarrollo y rendimiento similar a los que promueve la agroindustria (Herrera *et al.*, 2000).

En el presente trabajo de investigación que se llevó a cabo en el municipio de Xaloztoc, Tlaxcala, México, se evaluó una propuesta de nutrición para el cultivo de jitomate utilizando bioles y microorganismos de montaña líquidos (MML) provenientes de procesos de fermentación anaeróbica y elaborados de manera artesanal, en función de las necesidades nutrimentales del cultivo, considerando también los aportes minerales del suelo y de los biofertilizantes de autoproducción.

Con la realización del presente trabajo de investigación se analizó el contenido nutrimental de los bioles y MML para proponer un modelo de fertilización agroecológico del cultivo de jitomate; se evaluaron los efectos que éstos biofertilizantes tuvieron sobre el desarrollo y crecimiento del cultivo desde el trasplante hasta alcanzar siete racimos de producción (altura de la planta, diámetro del tallo, rendimiento total, rendimiento por calibres, vida de anaquel, % de materia seca en hoja, tallo y fruto, contenido mineral en hoja y fruto, y medición nutrimental de solución del suelo a lo largo del experimento); por último, se realizó una evaluación financiera, donde se comparó el costo de producción, el Punto de Equilibrio (PE), la Relación Beneficio/Costo (R B/C), el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) de la producción de jitomate bajo un sistema de nutrición agroecológico con el uso de bioles y MML, de manera individual y con un 50% de fertilización química, así como una nutrición con solo fuentes químicas y una nutrición con solo el uso de agua de riego.

1.1. Justificación

Actualmente, existe una vasta comprensión sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas gracias a investigaciones científicas que se han enfocado al estudio de la nutrición vegetal (Steiner, 1961, 1966, 1984; Herrera, 1999; Sainju, 2003) ya que esta es la base del crecimiento celular y, por ende, la base del desarrollo de cualquier cultivo (Menguel y Kirkby, 2000). A partir de estos conceptos, la ciencia y la industria de los fertilizantes han desarrollado y promovido sustancias químicas que proveen los nutrientes que las plantas requieren para su crecimiento, siendo el uso de fertilizantes químicos uno de los pilares que sostienen el modelo de producción agrícola industrializado de la Revolución Verde (Gliessman, 2002), mismo que ha provocado un serio deterioro en los suelos agrícolas como la salinización de estos y la eutrofización de cuerpos de agua (Herrera *et al.*, 2000; Gliessman *et al.*, 2007; Sarandón y Flores, 2014).

Actualmente el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza con mayor relevancia y altos niveles de producción en el planeta (Zamora *et al.*, 2020). Es, sin duda, uno de los productos agrícolas con más estudios de investigación en el mundo, siendo la nutrición uno de los aspectos prioritarios en el desarrollo de este cultivo ya que utiliza grandes cantidades de fertilizantes, principalmente de origen químico (Gaspar, 2010; Rusinque, 2021).

Es por ello que la autosuficiencia en el uso de fuentes de nutrición se puede realizar a través de la autoproducción de biofertilizantes que contengan los mismos o más nutrientes que los fertilizantes químicos (Ceccon, 2008; Restrepo, 2020), como una alternativa agroecológica en la producción de jitomate, ya que a través del uso de estos productos se favorece la salud del suelo mediante la disminución e inclusive la posible eliminación de fuentes químicas de nutrición, sin tener consecuencias negativas para el crecimiento y desarrollo del cultivo (Restrepo, 2007; Yanar *et al.*, 2011; Lehmann *et al.*, 2020; Aslam *et al.*, 2023).

Otro beneficio en el uso de productos agroecológicos es la obtención de una mejor condición económica, derivada de la reducción de los costos en la producción, a través de un menor consumo y dependencia de insumos externos, sin afectar los rendimientos esperados (Tsfay *et al.*, 2018; Sharma, 2024).

1.2. Planteamiento del problema

La búsqueda de producir más alimentos para una población en crecimiento ha promovido una agricultura moderna con enfoque industrial (Rose *et al.*, 2021), en la que se han utilizado diversas técnicas como semillas mejoradas, maquinaria y equipos pesados, plaguicidas y fertilizantes de origen químico y sintético, con la finalidad de tener altos rendimientos productivos y cubrir una alta demanda alimenticia (Sherwood y Uphoff, 2000; Lehman *et al.*, 2015; Ameen y Raza, 2017); sin embargo, estas técnicas de alta productividad han generado una crisis de sostenibilidad en los agroecosistemas, como el deterioro de la fertilidad natural del suelo debido a la salinización, erosión, contaminación y pérdida de su microbiota (Altieri, 1999; Goreau *et al.*, 2015; Bhanse *et al.*, 2022); además de los altos costos asociados a la adquisición de fertilizantes químicos, lo que reduce la rentabilidad del cultivo; y prácticas inadecuadas en la fertilización de los cultivos debido al uso exclusivo y dependencia de fuentes químicas de nutrición (Calvente, 2007; Ibarra, 2019; FAO, 2021).

Ante la situación que vive la agricultura en la actualidad, uno de los grandes desafíos es el proponer, a través de la agroecología, nuevos métodos y técnicas de producción que sustituyan muchas de las prácticas heredadas de la agricultura industrial y con ello minimizar el daño a los agroecosistemas (Bhardwaj *et al.*, 2014; Mamani de Marchese y Filippone, 2018).

En función de lo anterior, la presente investigación plantea un modelo de nutrición alternativo que permita alcanzar la suficiencia nutrimental del cultivo de jitomate sembrado en suelo y producido en invernadero en el municipio de Xaloztoc, Tlaxcala, México, mediante el uso de fertilizantes agroecológicos de autoproducción (bioles y microorganismos de montaña líquidos). Por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es factible la elaboración y uso de bioles y microorganismos de montaña líquidos para la producción de jitomate en invernadero en el municipio de Xaloztoc, Tlaxcala, México?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar un modelo de nutrición mediante el uso de bioles y microorganismos de montaña líquidos de autoproducción, con el fin de sustituir parcialmente los fertilizantes químicos en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo en el municipio de Xaloztoc, Tlaxcala, México.

1.3.2. Objetivos particulares

1. Realizar un análisis de fertilidad de suelo completo para determinar la concentración de los elementos nutrimentales existentes antes de iniciar el experimento.
2. Realizar un análisis específico de cada biofertilizante para determinar la concentración de nutrientes (P, S, K, Ca, Mg), con el fin de proponer y evaluar un modelo de fertilización agroecológico para el cultivo de jitomate en invernadero producido en suelo.
3. Diseñar un manejo nutrimental agroecológico para la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo, utilizando bioles y microorganismos de montaña líquidos de autoproducción en función del análisis de fertilidad del suelo.
4. Evaluar el efecto del uso de bioles y microorganismos de montaña líquidos de autoproducción en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del jitomate cultivado en invernadero y sembrado en suelo.
5. Evaluar financieramente la producción de jitomate, comparando el manejo nutrimental propuesto con el manejo nutrimental químico, determinando los costos de producción, el Punto de Equilibrio (PE), la Relación Beneficio/Costo (R B/C), el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

1.4. Hipótesis

El uso de bioles y microorganismos de montaña líquidos de autoelaboración en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo permite obtener mayor rendimiento y una mejor rentabilidad financiera en comparación con un manejo nutrimental basado en fertilización química.

1.5. Revisión de literatura

1.5.1. El cultivo de jitomate

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza de mayor importancia en el mundo, esto se debe al valor económico que representa su producción y consumo, así como, al aporte nutrimental que proporciona al ser humano a través de su ingesta de forma fresca o procesada (Bombelli y Wright, 2006; Costa y Heuvelink, 2018; Zamora *et al.*, 2020).

Actualmente esta hortaliza es cultivada en todo el mundo, siendo los principales productores China, India, Turquía, Estados Unidos, Egipto e Italia, produciendo de manera conjunta más del 67% de la oferta mundial, la cual en el año 2022 ascendió a 186 millones de toneladas cultivadas en 4.9 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2022).

En el año 2022 México ocupó el séptimo lugar de producción de jitomate a nivel mundial (FAOSTAT, 2022), siendo también, el principal exportador mundial de esta hortaliza con una participación del 19% de las exportaciones globales, convirtiéndose de este modo en uno de los cultivos con mayor impacto en la balanza comercial del país, contribuyendo con el 8.41% de las exportaciones del sector agropecuario (Montaño *et al.*, 2021). Por lo que el cultivo de jitomate es una actividad generadora de desarrollo económico a través de su derrama financiera y los empleos que esta produce (Gobierno de México, 2019; SIAP, 2021).

De acuerdo con datos estadísticos del SIACON (2023) y SIAP (2023) en cuanto a la producción de jitomate fresco, la República Mexicana en el año 2023 logró rendimientos de 3.6 millones de toneladas en 49 mil hectáreas (tanto en cielo abierto como en invernadero); en ese mismo año, los cinco estados con mayor producción de esta hortaliza fueron Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Jalisco y Morelos con rendimientos de 712,013; 436,097; 356,776; 211,716; 201,721 toneladas respectivamente, representando el 52.74% de la producción nacional; si bien Tlaxcala no figura dentro de los primeros lugares de producción, este cultivo representa gran importancia en el sector agrícola estatal, produciendo 8 mil toneladas en 82 hectáreas durante ese mismo periodo, representando el 0.22% a la producción nacional, ocupando de este modo el vigésimo octavo lugar de producción de jitomate del país.

Además de su importancia productiva y económica, el jitomate es también fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes, los cuales son fundamentales para la nutrición y la salud humana; entre las fuentes nutritivas que otorga este fruto se tiene la vitamina C, potasio y licopeno, siendo este último un compuesto fitoquímico (producido por plantas) que le brinda el color rojo al fruto, además de auxiliar en la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, neurológicas y el cáncer por tener un importante potencial antioxidante que limpian el organismo de toxinas y radicales libres (Cruz *et al.*, 2013; Ali *et al.*, 2023).

1.5.2. Producción de jitomate en invernadero

En las últimas décadas la agricultura ha buscado diferentes alternativas de producción que permitan tener el dominio de variables y riesgos climáticos, así como bióticos, que los cultivos enfrentan en la producción a campo abierto (Silva, 2021); surgiendo de este modo la agricultura protegida, que tiene como objetivo proporcionar a los cultivos las condiciones productivas adecuadas (físicas, fisiológicas y sanitarias) y con ello tengan un crecimiento, desarrollo y producción óptimos (Vargas *et al.*, 2018; Shi *et al.*, 2019).

Existen diferentes tecnologías de producción asociadas a la agricultura protegida como las casas sombra, microtúneles, macrotúneles e invernaderos, siendo todas estas estructuras construidas a partir de armazones los cuales son cubiertos tanto en sus techos como en sus paredes por coberturas que protegen a los cultivos del exterior (NMX-E-255-CNCP-2013; Ocampo, 2014; Borbón, 2022).

Se estima que en el mundo la producción en invernadero asciende a 2.8 millones de hectáreas (Silva, 2021), mientras que en México la producción hortícola bajo este sistema es de 28 mil hectáreas, de las cuales 16 mil se destinan a la producción de jitomate (SIACON, 2023) teniendo diferentes rendimientos dependiendo del nivel de tecnificación, ejemplo de ellos son los invernaderos de baja y mediana tecnología que difícilmente logran alcanzar las 300 ton ha⁻¹, mientras que los invernaderos de alta tecnificación pueden superar las 580 ton ha⁻¹ (Mejía *et al.*, 2023).

1.5.3. Producción de jitomate orgánico

Cuando se habla de agricultura orgánica, agroecológica o biodinámica, se hace referencia al sistema de producción en el cual no se hace uso de insumos de síntesis química (LPO, 2006; Vázquez y Ramírez, 2020), buscando por este medio que los alimentos sean producidos con insumos de origen natural, garantizando a los consumidores un producto sano y libre de sustancias nocivas, además de promover prácticas agroecológicas para una agricultura sustentable (IFOAM, 2024).

En las últimas décadas la producción orgánica ha tenido un amplio crecimiento debido a las ventajas que los consumidores perciben de esta clase de productos (Márquez *et al.*, 2010), de acuerdo con datos del FiBL (2024), en el ciclo productivo 2022 se registraron 96.4 millones de hectáreas producidas bajo sistemas orgánicos, las cuales representan el 2% del total de tierras cultivadas en el mundo, destinándose 503 mil hectáreas a la producción de hortalizas (entre ellas el jitomate) siendo Estados Unidos, Italia, China, Francia y México los países con mayor extensión en estos cultivos (Ortega *et al.*, 2021; Willer *et al.*, 2024).

México ocupa el vigésimo segundo lugar a nivel mundial en producción orgánica, registrando en el año 2023 una extensión de 432 mil hectáreas bajo este sistema productivo; en este mismo periodo se registraron 38 mil hectáreas con producción de hortalizas orgánicas posicionándolo como el quinto país a nivel mundial en producción de este tipo de cultivos (Willer *et al.*, 2024). En cuanto a la producción orgánica de jitomate se registraron 1,570 hectáreas de cultivo (en cielo abierto y en invernadero) produciéndose 129,574 toneladas de este cultivo lo que representa el 3.56% de la producción nacional, de las cuales, 611 hectáreas se destinan a la producción de jitomate bajo sistemas de agricultura protegida obteniendo un volumen de 78,865 toneladas lo que representa el 2.17% de lo que la nación produce (SIACON, 2023; SIAP, 2023).

Aun cuando Tlaxcala no figura en la producción nacional orgánica, este sistema de cultivo está cobrando interés entre los pequeños productores, al ir más allá de solo producir jitomates sin el uso de sustancias químicas, contribuyendo a la generación de estrategias de elaboración y uso de insumos orgánicos con la finalidad de lograr una adecuada producción del cultivo (Márquez *et al.*, 2009; Ortega *et al.*, 2021).

1.5.4. Origen y distribución del jitomate

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es originario del oeste de América del Sur migrando desde las costas andinas, las Islas Galápagos y Ecuador a países como Chile, Bolivia, Colombia y México (Peralta *et al.*, 2005), siendo este último el principal centro de domesticación de esta especie (Larry y Joanne, 2007).

Si bien el jitomate fue domesticado en América, la distribución mundial de este preciado fruto tuvo sus inicios en Europa durante el siglo XVI (Peralta y Spooner, 2007) siendo actualmente una de las hortalizas con mayor influencia en el mundo (Knapp y Peralta, 2016).

1.5.5. Clasificación taxonómica del jitomate

La clasificación taxonómica del jitomate ha variado a lo largo del tiempo con diferentes formas de organización, siendo nombrado originalmente por Linneo en 1753 como *Solanum lycopersicum*; por su parte, Miller en 1768 en “El Diccionario de los Jardineros” utilizó la clasificación *Lycopersicon esculentum*; sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que este fruto es parte del género *Solanum*, por lo que actualmente, la especie se denomina *Solanum lycopersicum* tal como fue descrita inicialmente (Peralta *et al.*, 2008; OECD, 2017) ubicándose en el siguiente contexto taxonómico de acuerdo con el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad:

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum* L.

Especie: *Solanum lycopersicum* L.

1.5.6. Crecimiento y desarrollo del cultivo

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) puede considerarse como una planta perenne ya que tiene la posibilidad de ser cultivada en condiciones favorables por más de un año (Argerich *et al.*, 2011), sin embargo, la producción de este cultivo también puede llevarse a cabo en ciclos cortos de 5 a 6 meses o en ciclos largos de 8 a 12 meses (Díaz, 2021).

Para tener un crecimiento y desarrollo adecuado en el cultivo de jitomate, se deben considerar las etapas fenológicas, las condiciones ambientales adecuadas; la época de siembra; la variedad a cultivar, el manejo cultural, los requerimientos nutrimentales y las características del suelo, así como, la susceptibilidad de plagas y enfermedades, todo esto, con la finalidad de lograr un entorno óptimo para el crecimiento, desarrollo y buena producción del cultivo (Castellanos, 2009; Allende *et al.*, 2017).

1.5.6.1. Etapas fenológicas

El cultivo de jitomate consta de diferentes etapas fenológicas que abarcan desde la germinación de la semilla, hasta la cosecha del fruto (Escobar y Lee, 2009).

Germinación. Esta etapa comienza con la siembra de semilla y culmina cuando la plántula alcanza la madurez para ser trasplantada, teniendo como indicador la formación de tres a cuatro hojas verdaderas en el plantín, lo cual toma un tiempo aproximado de 28 días. Para esta etapa es recomendable cuidar que el suelo se mantenga en una temperatura entre 12 °C y 16 °C, así como mantener una temperatura ambiental entre los 25 a 28 °C, ya que por debajo de los 10 °C la semilla no germina (Velasco *et al.*, 2011).

Desarrollo vegetativo y floración. Se considera el inicio de esta etapa al momento de realizar el trasplante hasta que la planta ha formado los primeros racimos florales y ha comenzado el amarre de frutos. La duración promedio de esa etapa es de 49 días (Villarreal *et al.*, 2002), sin embargo, este tiempo puede variar dependiendo de las condiciones climáticas; además de ser en este periodo cuando la planta presenta un mayor desarrollo de raíz y hojas (Velasco *et al.*, 2011).

Fructificación y producción. Se caracteriza por el amarre y la formación de frutos posterior a la polinización de la flor, iniciando entre los 28 a 35 días después de trasplante, requiriendo alrededor de 58 días para que el fruto alcance su madurez (Muñoz, 2004). Es notorio que durante este periodo se observen los primeros jitomates en un proceso de crecimiento y maduración dentro de los racimos inferiores del cultivo. Cabe destacar que, durante esta etapa, la planta sigue presentando un desarrollo vegetativo y reproductivo en donde continúan apareciendo nuevas hojas, nuevos racimos florales, en conjunto con la formación de frutos (Escobar y Lee, 2009).

Cosecha y postcosecha. Es la etapa final del proceso de producción del jitomate, la cual comienza con la recolección de los frutos cuando han alcanzado su nivel de madurez fisiológica, cambiando su color de verde a rojo indicando de que el fruto está completamente maduro, también en esta fase se realizan actividades como limpieza, clasificación, empaque, almacenamiento y transporte del producto al mercado final. Este periodo comprende entre los 85 y 90 días después del trasplante, teniendo una duración de aproximada de 180 días, los cuales dependen de la variedad genética de la planta, del ciclo productivo, la nutrición y del manejo de plagas y enfermedades (Jaramillo *et al.*, 2006; Escobar y Lee, 2009).

1.5.6.2. Aspectos ambientales

Luz. La cantidad y calidad de luz solar que incide sobre las plantas de jitomate tiene una gran influencia en el cultivo, ya que esta no solo interviene en el proceso fotosintético, sino también, en el crecimiento y desarrollo de los tejidos, en la floración y maduración de frutos, requiriéndose un periodo entre 6 y 12 horas de luz de día para poder tener procesos de fructificación adecuados, manteniendo una luminosidad alrededor de los 2,500 a 3,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Velasco *et al.*, 2011; Allende *et al.*, 2017).

Temperatura. La producción de jitomate se desarrolla adecuadamente en rangos de temperatura que oscilan entre los 20 y 30 °C durante el día y entre 10 y 17 °C durante la noche ya que temperaturas menores a 10 °C y superiores a los 30 °C afectan el desarrollo adecuado de la planta traduciéndose en problemas de fructificación (Argerich *et al.*, 2011; López, 2017).

Humedad relativa. Allende *et al.* (2017) mencionan que el rango óptimo en el que debe desarrollarse el cultivo debe estar entre 60 y 80%, esto con la finalidad de tener una adecuada polinización y evitar el desarrollo de enfermedades fungosas y bacterianas.

1.5.6.3. Época de siembra

El cultivo de jitomate en invernadero tiene la posibilidad de llevarse a cabo prácticamente todo el año, sin embargo, en regiones con invierno frío, la producción comienza a finales de febrero y marzo para aprovechar las estaciones de primavera, verano y otoño, usando el invierno para limpieza del invernadero. Para zonas sin presencia de heladas la siembra comienza a partir del mes de septiembre y hasta noviembre (López, 2017; Gorini, 2018).

1.5.6.4. Variedades de jitomate

En la producción de jitomate, Muñoz (2004) y Monge (2015) mencionan que uno de los aspectos importantes es la selección de la variedad o elección del material vegetal, las cuales tienen una influencia en la resistencias a plagas y enfermedades, así como, a los hábitos de crecimiento del cultivo (determinado e indeterminado), esto debido a que en México el uso de variedades indeterminadas se destina principalmente a la producción en invernaderos, mientras que las variedades determinadas son utilizadas en la producción a campo abierto.

Dentro de las variedades de jitomate determinadas (plantas que detienen su crecimiento después de un cierto número de inflorescencias) podemos encontrar Mónica (Sakata, Jalisco, México), Yaqui (Semini, CDMX, México), Pegaso (Harris Moran, Querétaro, México); mientras que, ejemplos de variedades de jitomate con hábitos indeterminados (plantas donde el tallo principal y tallos laterales crecen de manera continua) podemos mencionar a Reserva F1 (Vilmorin-Mikado, Querétaro, México), CID (Harris Moran, Querétaro, México), SUN 7705 (Nunhems, Guanajuato, México), entre otros (López, 2017; ICAMEX, 2022).

1.5.6.5. Características del suelo

La planta de jitomate puede considerarse un cultivo rústico en cuanto a su producción en suelo, ya que es una especie que se adapta muy bien a suelos con diferentes características físicas y químicas; sin embargo, en condiciones ideales este cultivo requiere de un suelo (arcilloso, limoso o arenoso) con un buen drenaje y un alto contenido de materia orgánica (mayor al 3%), con una profundidad mínima sin compactación de 40 cm y un pH entre 6 y 6.5, lo cual facilita la adecuada asimilación de nutrientes (Velasco *et al.*, 2011; Allende *et al.*, 2017).

1.5.7. Manejo del cultivo

A lo largo del ciclo productivo del jitomate se llevan a cabo diferentes acciones y labores culturales como la preparación del terreno, determinación de la densidad de siembra, trasplante, tutoreo y anillado, poda, polinización y control de arvenses, con la finalidad de realizar un adecuado manejo del cultivo (Jaramillo *et al.*, 2006).

Preparación del terreno. Una adecuada preparación del suelo es esencial para aumentar la probabilidad de éxito a lo largo del ciclo productivo del cultivo. Este proceso debe incluir una buena labranza, en la cual se afloje la tierra con una profundidad de 30 a 40 cm; se debe también asegurar la sanidad del suelo a través de la eliminación de arvenses (preferentemente de forma manual o mecánica), además de la incorporación de enmiendas minerales, orgánicas y biológicas, con base en los análisis de suelo. Es recomendable que la preparación del suelo se realice entre uno o dos meses antes del trasplante, lo que permitirá una mejor sanidad para la planta al momento del trasplante (Jaramillo *et al.*, 2006; Larín *et al.*, 2018).

Formación de camas. Esta actividad involucra el trazado y formación de las camas o surcos de cultivo además de la colocación de las cintas de riego y del acolchado (plástico u orgánico). Para la construcción de la cama se busca elevar el surco entre 25 a 40 cm, considerando un ancho entre 0.8 a 1.2 m, además de una distancia entre los centros de las camas entre 1.4 a 1.6 m, para lograr tener espacio de pasillos entre 0.8 a 1.0 m (López, 2017; Larín *et al.*, 2018).

Densidad de siembra. La densidad de siembra hace referencia a la cantidad de plantas por m^2 y a la distancia que se guarda entre ellas. Este aspecto tiene relación directa con la elección de variedad a sembrar al influir en la competencia nutrimental entre las plantas; crecimiento vegetativo del cultivo y su sanidad, generación de microclimas y aireación entre las plantas, uniformidad en la maduración de los frutos y en el volumen de producción. La densidad de siembra para el cultivo de jitomate oscila entre 2 a 8 plantas m^{-2} , dependiendo del sistema de producción y de los ciclos productivos al año, cuidando mantener una distancia entre plantas de 30 a 50 cm (Argerich *et al.*, 2011; Amoako *et al.*, 2022; Mejía *et al.*, 2023).

El trasplante. Es la actividad en la cual se coloca la planta en el lugar donde se asentará el cultivo haciendo un orificio en el surco, depositando la planta dentro del orificio y cerrándolo, para que el cepellón de la planta tenga un buen contacto con el suelo (se debe asegurar que el suelo donde quedará la planta este con una buena humedad y a capacidad de campo) (Jaramillo *et al.*, 2006; López, 2017).

El tutoreo y anillado. El tutoreo facilita el crecimiento de las plantas de forma vertical guiando su tallo y ápice a través de hilos que cuelgan de la estructura superior de los invernaderos, los cuales tienen una separación entre ellos de 30 a 50 cm; este procedimiento también se realiza en cultivos de jitomate a cielo abierto mediante un sistema de postes y guías con hilos o alambres que sostienen a las plantas mientras se desarrollan. El anillado consiste en la colocación de anillos plásticos en la base de las plantas con la finalidad de sujetar los hilos en los que estas son tutoradas (Velasco *et al.*, 2011; Escobar y Lee, 2009).

Las podas. Son la eliminación de material vegetal en el cultivo del jitomate, estas pueden ser: poda de brotes axilares, poda de hojas, poda de frutos y poda del brote apical (Polese, 2005; López, 2017).

La polinización. Es el mecanismo en el que el polen llega al estigma de la flor y esta es fecundada dentro del cultivo de jitomate en invernadero, esta actividad se realiza por medios mecánicos (generando movimientos en las plantas para que se genere desprendimiento de polen en la flor) o biológicos (a través de abejorros polinizadores) (Muñoz, 2004; Polese, 2005; Escobar y Lee, 2009).

El control de arvenses. Se efectúa mediante deshierbes en forma manual o con el uso de acolchados que son cubiertas plásticas sobre el surco para evitar el crecimiento de arvenses con la finalidad de evitar la competencia en el consumo de nutrientes entre el cultivo y las hierbas (Polese, 2005; Gorini, 2018).

1.5.8. Plagas y Enfermedades

De acuerdo a la FAO (2023), una plaga es considerada como cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales. Estos organismos, al aumentar su densidad poblacional a niveles anormales generan afecciones económicas en los cultivos (Brechelt, 2004). En la producción de jitomate los organismos más comunes que pueden causar algún daño y llegar a ser considerados como plagas son: minador de la hoja, mosquita blanca, pulgón verde, araña roja y gusano del fruto (Escalona, *et al.*, 2009). De acuerdo con Villalva (2005) y Latorre (2004), las enfermedades en las plantas son alteraciones fisiológicas o perturbaciones metabólicas producidas por agentes abióticos (interacción de las plantas con el ambiente) y agentes bióticos (patógenos como bacterias, hongos, virus y fitoplasmas); las enfermedades más relevantes en el cultivo de jitomate pueden agruparse según el tipo de patógenos (Tabla 1).

Tabla 1. Principales enfermedades en el cultivo de jitomate y sus agentes causantes.

Enfermedad	Tipo de patógeno	Agente patógeno
Mancha bacteriana	bacteria	<i>Xanthomonas spp.</i>
Cáncer bacteriano	bacteria	<i>Clavibacter michiganensis</i>
Necrosis de medula o medula negra	bacteria	<i>Pseudomonas corrugata</i>
<i>Damping-Off</i>	hongo	<i>Rhizoctonia spp.</i> , <i>Pythium spp.</i> , <i>Phytophthora spp.</i>
Moho gris	hongo	<i>Botrytis cinérea</i>
Pudrición de corona	hongo	<i>Fusarium oxysporum f. sp. root-lycopersici</i>

Continuación de Tabla 1...

Marchitez por Fusarium	hongo	<i>Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici</i>
Tizón tardío	hongo	<i>Phytophthora infestans</i>
Tizón temprano	hongo	<i>Alternaria Solani</i>
Virus Chino del tomate	virus	Virus Chino del tomate (<i>CdTV</i>)
Virus del mosaico del tomate	virus	Virus del mosaico del tomate (<i>ToMV</i>)
Virus rugoso del tomate	virus	El virus rugoso del tomate (<i>ToBRFV</i>)
Agallamiento de raíz	nematodo	<i>Meloidogyne spp.</i>

Fuente: Escalona *et al.* (2009); Escobar y Lee (2009); Velasco *et al.* (2011); López (2017); Cambrón *et al.* (2019).

1.5.9. Nutrición y fertilización del cultivo de jitomate

La nutrición vegetal se refiere al suministro, disponibilidad y absorción de diferentes sustancias y compuestos químicos (orgánicos e inorgánicos) para que las plantas realicen procesos metabólicos necesarios para un crecimiento y desarrollo adecuado (Menguel y Kirby 2000; Azcón y Talón, 2008; Fageria, 2009), por lo tanto, para una apropiada nutrición en el cultivo de jitomate, es necesario considerar los elementos esenciales que la planta requiere para lograr los objetivos de crecimiento y rendimiento esperados (FAO y CIRAD, 2021; Amoako *et al.*, 2022).

El cultivo de jitomate en invernadero al ser considerado como un cultivo de producción intensiva debido a los altos rendimientos esperados, requiere la aplicación de dosis elevadas de fertilización para abastecer la cantidad de nutrientes extraídos por los rendimientos obtenidos, esto implica que, a mayor rendimiento, se presenta un mayor consumo de nutrientes (Castellanos, 2009). En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de extracción y las dosis aplicadas para satisfacer el consumo de los principales nutrientes en el cultivo de jitomate sembrado en suelo en invernadero durante un ciclo de 8 meses con un rendimiento de 340 ton ha⁻¹ (Castellanos *et al.*, 2004; Castellanos, 2009).

Tabla 2. Coeficiente de extracción y consumo de los principales nutrientes en cultivo de jitomate sembrado en suelo en invernadero para un rendimiento de 340 ton ha⁻¹.

Nutrimento	Coeficiente de extracción kg ton ⁻¹	Consumo de nutrientes kg ha ⁻¹
N	3	910
P ₂ O ₅	1	646
K ₂ O	5	1,441
Ca	2.5	1,010
Mg	1	288

Fuente: Castellanos *et al.* (2004); Castellanos (2009).

Para una adecuada fertilización en el cultivo de jitomate en suelo, además de los niveles de extracción de nutrientes y rendimiento esperado, se debe considerar el contenido nutrimental del suelo donde se llevará a cabo la plantación ya que, dependiendo del valor en que se presente cada elemento, este será descontado del requerimiento total del cultivo, dando como resultado una necesidad de nutrientes que servirá para el diseño de la solución nutritiva a emplear (Lara, 1999; Ojodeagua *et al.*, 2008; Castellanos, 2009; Amoako *et al.*, 2022).

Una vez teniendo el nivel nutrimental requerido para el cultivo de jitomate, se diseña una solución nutritiva que concentra los nutrientes necesarios, manteniendo una relación mutua entre los aniones N, P, S y los cationes Ca, K, Mg (Steiner, 1961, Steiner, 1984) tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Solución nutritiva de Steiner con relación mutua entre aniones y cationes para la nutrición del cultivo de jitomate (meq L⁻¹).

NO ₃ ⁻	H ₃ PO ₄ ⁻	SO ₄	K	Ca	Mg
12	1	7	7	9	4

Fuente: Steiner (1984); Fertilab (2019).

1.5.10. Agricultura agroecológica y sostenible

Desde el establecimiento de los primeros cultivos (hace más de 10,000 años) hasta la fecha, el estudio de la agricultura ha sido una área de interés para el ser humano ya que ha buscado

entender el funcionamiento de los agroecosistemas (procesos, estructuras, interacciones y sostenibilidad en la producción de alimentos), lo que ha generado diferentes puntos de vista de los sistemas agrícolas que van desde un enfoque sobre la producción tradicional, pasando por una visión productivista y de alto uso de insumos hasta una perspectiva agroecológica que define el concepto de sostenibilidad como la capacidad de obtener productos de manera continua y en una cantidad determinada bajo un sistema que puede renovarse de forma natural y que su capacidad de regeneración no está en peligro (Gliessman, 2002) por tanto, la visión agroecológica busca integrar de forma holística una producción de alimentos, fibras y forrajes en equilibrio con el bienestar ambiental, la equidad social, y la viabilidad económica entre todos los sectores de la sociedad.

Para entender el enfoque de la Agroecología es necesario conocer el fundamento básico del que este surge, es decir “El agroecosistema”, entendido como un sistema en el que existen un sinnúmero de interacciones dinámicas entre los organismos vivos y su entorno, manteniéndose en equilibrio durante el tiempo a pesar de las fronteras establecidas en él, considerando también, que un agroecosistema se crea cuando existe una intervención, y alteración al ecosistema natural derivada de la manipulación humana con el fin de establecer una producción agrícola (Odum, 1983; Gliessman *et al.*, 2007).

Por tanto, la agroecología surge como la aplicación de conceptos y principios ecológicos en el diseño y manejo de agroecosistemas para poder lograr un modelo sostenible de producción de alimentos (Gliessman, 2002). Es esencial considerar todos los componentes del sistema alimentario, desde el productor hasta el consumidor, en una dinámica interactiva. Por ello, la definición de agroecología debe ser lo suficientemente amplia, sólida y flexible para facilitar un análisis integral de su complejidad. Así, la agricultura agroecológica y sostenible se basa en un modelo de producción donde los agricultores (dimensión social) implementan prácticas respetuosas con el medio ambiente (dimensión ecológica), buscando mantener la producción en el tiempo sin comprometer sus ingresos (dimensión económica) (Sarandón y Flores, 2014; Gliessman *et al.*, 2017; Altieri, 2018; Sarandón, 2020).

1.5.11. Biofertilizantes y su uso

La agricultura agroecológica y sostenible busca la producción de alimentos sanos en determinados espacios y recursos disponibles localmente como la biodiversidad, el suelo y el agua para obtener buenos rendimientos a corto, mediano y largo plazo. Este objetivo se logra mediante tecnologías y prácticas de manejo apropiadas a las condiciones agroclimáticas, sociales, culturales y económicas de cada lugar y dependiendo de las necesidades de los agricultores; promoviendo al mismo tiempo la distribución justa y equitativa de los costos y beneficios asociados a la producción (Altieri, 1999; Barg y Queirós, 2012; Sarandón, 2020).

Para lograr los objetivos de la agricultura agroecológica y sostenible se hacen uso de productos como los abonos orgánicos, biopreparados y biofertilizantes, elaborados a partir de materiales simples, sustancias y elementos naturales de origen vegetal, animal, mineral y microbiano, los cuales en combinación mejoran los sistemas productivos en los que se aplican (Ramos y Terry, 2014; Areeshi, 2022).

Los biopreparados se pueden clasificar de acuerdo con su acción: bioestimulante o bioenraizador, biofertilizante, biofunguicida y bionsecticida o biorepelente; también pueden ser clasificados acorde con su preparación: extracto, infusión, decocción, purín, macerado y caldo (IPES y FAO, 2010; Mamani de Marchese y Filippone, 2018).

Los bioestimulantes son sustancias o microorganismos que actúan como suplemento a las plantas, proporcionando una mayor eficiencia nutricional, incrementando la tolerancia al estrés biótico y abiótico, además de mejorar las características de calidad del cultivo, por ejemplo, los bioestimulantes incrementan la masa radical de las plantas (du Jardín, 2015; Nephali, 2020; García, García y León, 2021). Los biofertilizantes son el resultado de la descomposición o fermentación (mediante la acción de microorganismos) de materia orgánica disuelta en agua, promoviendo una mejor nutrición y resistencia a plagas y enfermedades; hay dos tipos: los aeróbicos (presencia de oxígeno) y anaeróbicos (ausencia de oxígeno), y también hay enriquecidos cuando se le añaden minerales, algunos de los biofertilizantes más conocidos son: biofertilizante líquido enriquecido, biol, microorganismos de montaña, humus líquido, pasta fertilizante para tronco de frutales, purín

fermentado de ortiga, extracto de ortiga, fertilizante enriquecido súper magro (IPES y FAO, 2010; Aguado 2012; Mamani de Marchese y Filippone, 2018; Restrepo, 2020; Lucas *et al.*, 2021; Allouzi *et al.*, 2022).

Dentro de la agricultura agroecológica actual, es común la utilización de biofertilizantes con la finalidad de no dañar el ecosistema del suelo y mejorar su actividad biológica (Wezel, 2014), es por ello que biofertilizantes como los bioles y microorganismos de montaña están siendo promovidos para su uso con la finalidad de proveer una alternativa de fertilización hacia las plantas (INIA, 2008; Armenta 2010; IPES y FAO, 2010; Rodríguez *et al.*, 2014; Chávez *et al.*, 2020; Restrepo, 2020).

INIA (2008) y Gallegos *et al.* (2022) mencionan que el biol es un abono orgánico obtenido por medio de un proceso de fermentación anaeróbico donde se involucran materiales que provienen de animales o plantas (estiércoles o restos vegetales), los cuales tienen características benéficas para procesos biológicos y fisiológicos de las plantas como germinación de semillas, fortalecimiento de raíces, floración y crecimiento de las plantas, además de éstos tienen un bajo costo para su elaboración debido a la utilización de materiales existentes dentro del entorno productivo.

Las investigaciones en torno a microorganismos del suelo son relativamente nuevas, en 1991 el Dr. Terou Higa introdujo el concepto de Microorganismos Eficientes (EM por sus siglas en inglés) los cuales consisten en un cultivo mixto de microorganismos benéficos de origen natural que pueden ser aplicados como inoculantes al suelo y a las plantas con la finalidad de incrementar la diversidad microbiana de estos (Higa, 1991; Higa y Parr, 1994). A raíz de esta investigación, se han generado tecnologías para la reproducción y utilización de microorganismos que habitan de forma natural en los bosques, a los cuales se les denomina coloquialmente como microorganismo de montaña (Rodríguez *et al.*, 2014; Camacho *et al.*, 2019), los cuales pueden llegar a contener una gran diversidad de especies microbianas como bacterias fotosintéticas, bacterias productoras de ácido láctico, actinomicetos y levaduras, ayudando en la asimilación de nutrientes presentes en el suelo, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Higa y Wididana, 1991; Campo *et al.*, 2014; Luna y Mesa, 2016).

1.5.12. Evaluación y análisis financiero del cultivo de jitomate

La evaluación es el proceso de analizar, medir o juzgar el valor, la calidad, la eficacia o la importancia de algo, utilizando criterios medibles y comparables. En el caso de la evaluación financiera, se trata de valorar aspectos relacionados con el capital dentro del ámbito empresarial, con el objetivo de obtener un beneficio o ganancia económica (García, 2008; Aguilera, 2017). Por ello, en la producción de jitomate es fundamental evaluar las inversiones realizadas en su cultivo para determinar su nivel de rentabilidad.

Entre los rubros de análisis que comprende la evaluación financiera se encuentran la determinación de los recursos financieros involucrados en una inversión como capital invertido, ingresos, egresos y financiamientos requeridos para llevar a cabo dicha inversión, otro de los objetivos de la evaluación financiera es demostrar por medio de ciertos indicadores como el Punto de Equilibrio (PE), la Relación Beneficio/Costo (R B/C), Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), la viabilidad y rentabilidad de llevar a cabo inversiones de capital o proyectos de inversión (ILPES, 2006; Sapag, 2014; Aguilera, 2017).

Para llevar a cabo una correcta evaluación financiera se requiere tener claro el concepto de costos variables, costos fijos y costo unitario de producción. Los costos variables son todos aquellos egresos que están directamente relacionados a producción y/o distribución de un bien, es decir cuando existe una mayor producción se genera un mayor egreso; ejemplos de costos variables son las materias primas, la mano de obra y los costos de energías involucrados en la producción. Los costos fijos son aquellos egresos dirigidos a mantener la operación de una empresa y que tienen como cualidad mantenerse constantes en magnitud sin importar la cantidad productiva que se llegue a tener; ejemplos de costo fijos son los costos de administración y costos de venta. El costo unitario de producción considera todas las erogaciones involucradas directamente en el proceso de elaboración de una unidad de producto (ILPES, 2006; Baca, 2010; Sapag, 2014).

Morales y Morales (2009) nos mencionan que la rentabilidad de una inversión debe de evaluarse por medio de indicadores financieros como el Punto de Equilibrio, el cual hace referencia a la cantidad de ingresos que igualan a la totalidad de costos fijos y variables que

una empresa tiene para su funcionamiento; por lo que el cálculo de este indicador permite conocer el volumen de ventas o ingresos necesarios para cubrir los costos totales, establecer un nivel mínimo necesario de producción y/o ventas e identificar los costos variables y fijos que tienen influencia en la operación de la empresa o del proyecto de inversión.

Otro indicador importante es la Relación Beneficio/Costo (R B/C) en donde Aguilera (2017) menciona que este indicador aporta información para saber por medio de una relación matemática, si los ingresos obtenidos (beneficios) son mayores a los costos involucrados, ya que esta relación permite saber el nivel de rentabilidad de una empresa, de un proyecto o una inversión. El Valor Presente Neto (VPN) junto con la Tasa Interna de Retorno (TIR) son valores que permiten demostrar la viabilidad y rentabilidad de una inversión a través del tiempo ya que involucran flujos de efectivo (ingresos – egresos) durante un periodo de evaluación, siendo el VPN un indicador de rentabilidad que mide el monto financiero posterior a la recuperación de una inversión realizada, es decir, es la suma de los ingresos y egresos obtenidos en diferentes periodos de tiempo evaluados (utilizando una tasa de actualización para su cálculo), obteniendo así un monto total de flujos anualizados, el cual se restan a una inversión realizada y con ello conocer si dicha inversión fue recuperable (si la VPN es igual o mayor a cero) o no (si el VPN es menor que cero) en el periodo de tiempo evaluado. La TIR por su parte, indica en términos de porcentaje, el rendimiento máximo que puede obtenerse de una inversión en un determinado periodo de evaluación con respecto sus flujos de efectivo y una tasa de rendimiento mínima aceptada (TREMA), por lo que si el valor obtenido de la TIR es superior al de la TREMA, la inversión es rentable, de lo contrario, si el valor de la TIR es inferior a la TREMA, la inversión no es rentable (ILPES, 2006; Morales y Morales, 2009; Baca, 2010; Sapag, 2014; Aguilera, 2017).

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

La presente investigación se realizó en el municipio de Xaloztoc, Tlaxcala, México (Figura 1); se encuentra ubicado en la parte central del estado de Tlaxcala, dentro del Altiplano central mexicano; se sitúa en un eje de coordenadas geográficas entre los 19°25'03" latitud norte y 98°02'57" longitud oeste; tiene una altura de 2,500 metros sobre el nivel del mar; el municipio de Xaloztoc colinda al norte con los municipios de Tetla de la Solidaridad y Terrenate, al sur con Tocatlán y Tzompantepec, al oriente con Huamantla y al poniente con Apizaco (Enciclopedia de los Municipios, 2017).

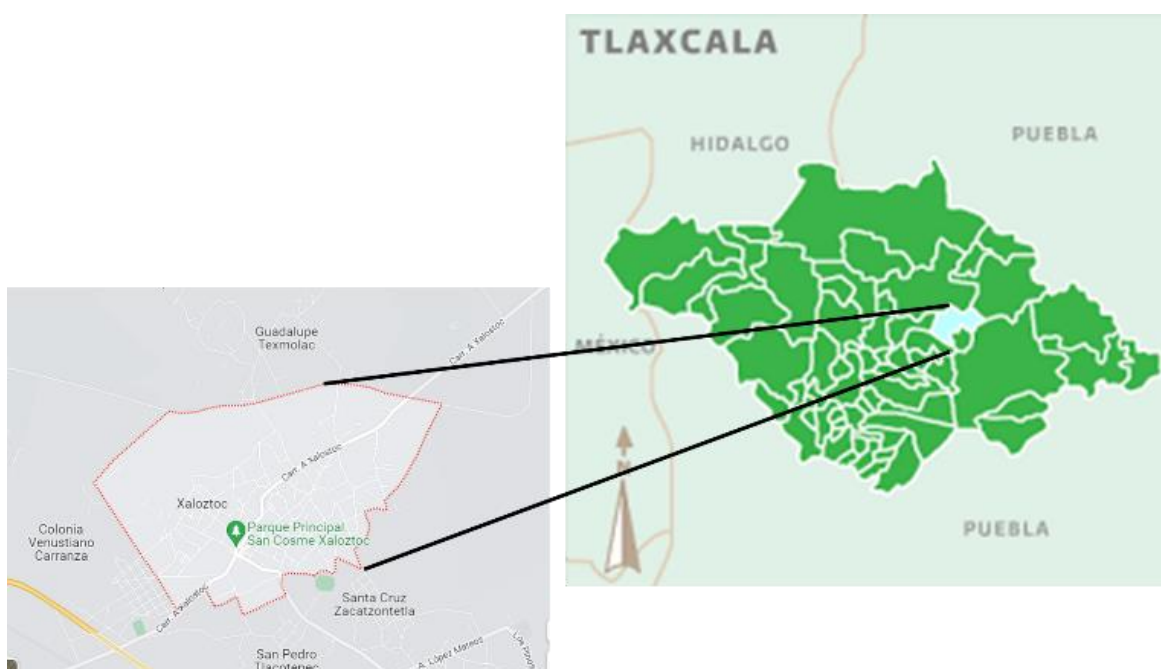


Figura 1. Localización del área de estudio en el estado de Tlaxcala (Google Earth, 2024).

2.2. Análisis físico-químico para determinar la fertilidad del suelo

El análisis de fertilidad de suelos es una herramienta que permite conocer la cantidad potencial de nutrientes presentes en el suelo al momento de tomar la muestra (NOM-021-RECNAT-2000; Phytomonitor, 2020). Por esta razón, en la investigación se realizó un análisis de fertilidad del suelo de la parcela experimental para determinar la concentración

de los elementos nutricionales existentes antes iniciar el experimento considerando los parámetros mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Determinación de parámetros físico-químicos y técnicas para análisis de fertilidad de suelo.

Determinación	Técnica
Textura	Probeta de Bouyoucos
pH	Conductímetro
Conductividad eléctrica	Potenciómetro
Porcentaje de materia orgánica	Walkley-Black
Densidad aparente	Método de la probeta
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio a pH 7.0
% de nitrógeno nítrico	Brusina
% de fósforo	Bray u Olsen (dependiendo del pH)
% de potasio	Acetato de amonio a pH 7.0
% de calcio	Acetato de amonio a pH 7.0
% de magnesio	Acetato de amonio a pH 7.0
% de azufre	Turbidimétrico
ppm de hierro	Extracción DTPA
ppm de zinc	Extracción DTPA
ppm de manganeso	Extracción DTPA
ppm de boro	Azometina-H

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

2.3. Elaboración de biofertilizantes de autoproducción y su determinación nutrimental

2.3.1. Elaboración de bioles

Para la elaboración de bioles con los macroelementos calcio, potasio, fósforo, magnesio y azufre, se emplearon las metodologías propuestas por IPES y FAO, 2010, así como, la de Restrepo, 2020 en la que se utilizó un recipiente de plástico con sellado hermético de 200 litros de capacidad por cada elemento nutritivo. En cada tambo se combinaron 40 kg de estiércol bovino fresco, 160 litros de agua, 4 litros de melaza, 4 litros de suero de leche y los minerales correspondientes a cada macronutriente. En el caso del calcio, se añadieron 6 kg de carbonato de calcio; para el potasio, 10 kg de sulfato de potasio; para el fósforo, 10 kg de roca fosfórica; para el magnesio, 10 kg de sulfato de magnesio, y para el azufre, no se

adiciono ningún material específico, ya que se contabilizó la cantidad del elemento mediante los sulfatos presentes en el sulfato de magnesio y el sulfato de potasio.

El procedimiento de preparación de los bioles comenzó perforando la tapa de cada recipiente de 200 litros para instalar una válvula conectada a una manguera plástica, permitiendo la salida de los gases generados por el proceso de fermentación anaeróbica. Se mantuvo el sellado hermético con empaques adecuados. Luego, se colocó el estiércol fresco en los recipientes y se fueron añadiendo poco a poco 100 litros de agua en cada uno de ellos, mientras se mezclaba constantemente para integrar bien el estiércol. Los restos no degradados fueron retirados con un colador.

Posteriormente, en una cubeta aparte, se diluyeron 4 litros de melaza con 10 litros de agua, y esta mezcla, junto con 4 litros de suero de leche, fue incorporada a cada tambo, agitando continuamente. A cada recipiente que contenía la mezcla se le añadió uno de los minerales (carbonato de calcio, sulfato de potasio, roca fosfórica y sulfato de magnesio), asegurándose de mezclar todo hasta lograr una composición homogénea. Después, se completó con agua hasta los 180 litros de capacidad.

Una vez mezclados todos los ingredientes, se taparon herméticamente los tanques para promover la fermentación anaeróbica. Se conectó la manguera a una botella plástica con agua, permitiendo que los gases se escaparan por el burbujeo, evitando por este medio la entrada de oxígeno. La manguera debía permanecer siempre sumergida en el agua.

Finalmente, los tanques se dejaron en proceso de fermentación durante un período de 20 a 30 días (hasta que la válvula atrapa gases dejara de emitir burbujeo) a temperatura ambiente, protegidos del sol y la lluvia. Al finalizar la fermentación, se abrieron los recipientes para verificar la calidad del biol a través de su olor y color. Un biol exitoso debe tener un aroma agradable a fermentación y un color ámbar brillante y translúcido. Si el olor fuese a putrefacción y con un color azul violeta, la mezcla se echó a perder y no puede ser utilizada.

2.3.2. Elaboración de microorganismos de montaña líquidos

Para la elaboración de los microorganismos de montaña líquidos, enriquecidos con los macroelementos calcio, potasio, fósforo, magnesio y azufre, se empleó un recipiente de

plástico con sellado hermético con capacidad de 200 litros por cada elemento nutritivo. En cada tambo, se utilizaron 10 kg de microorganismos de montaña sólidos como inóculo, 110 litros de agua, 4 galones de melaza, 50 litros de suero de leche, y 10 kg de minerales específicos. Para el calcio, se añadieron 10 kg de carbonato de calcio; para el potasio, 10 kg de sulfato de potasio; en el caso del fósforo, se agregaron 10 kg de roca fosfórica; para el magnesio, se utilizaron 10 kg de sulfato de magnesio (Rodríguez *et al.*, 2014; Restrepo, 2020); y el azufre fue aportado por los sulfatos contenidos en el sulfato de magnesio y el sulfato de potasio. El procedimiento empleado siguió las indicaciones de Simón (2019) y Restrepo (2020), y se describe a continuación.

Primero, se perforó la tapa de los recipientes para instalar una válvula conectada a una manguera plástica, que permitiera la liberación de los gases resultantes de la fermentación anaeróbica, asegurándose de mantener un sellado hermético con el uso de empaques adecuados. Posteriormente, se introdujeron 10 kg de microorganismos de montaña en una bolsa de tela de algodón (también se podría usar una bolsa de yute o mosquitero), bien atada, y se sumergió dentro de cada recipiente plástico.

A continuación, se vertieron 50 litros de suero de leche en cada tambo, y en 20 litros de agua se disolvieron 2 galones de melaza, que luego se incorporaron a la mezcla. Posteriormente, se añadió agua hasta alcanzar una capacidad de 100 litros, manteniendo una mezcla constante de los materiales.

Los tanques se sellaron herméticamente para favorecer la fermentación anaeróbica durante cuatro días. Para el cerrado de los tanques se colocó una trampa de gases, sumergiendo la manguera en una botella con agua, lo que permitía que los gases de la fermentación escaparan a través de burbujeo sin permitir la entrada de oxígeno al interior del recipiente, cuidando que el extremo de la manguera siempre permaneciera cubierto por agua.

Al cuarto día, se abrieron los recipientes y se añadieron los minerales (un elemento por tambo): 10 kg de carbonato de calcio, 10 kg de sulfato de potasio, 10 kg de roca fosfórica y 10 kg de sulfato de magnesio, mezclando bien todo el contenido. Después, por cada recipiente, se disolvieron otros 2 galones de melaza en 20 litros de agua, y se incorporaron a los tanques. Luego, se agregó más agua hasta completar 180 litros, dejando un espacio de 15 cm entre el nivel del líquido y la tapa.

Los tanques fueron nuevamente sellados herméticamente para continuar el proceso de fermentación anaeróbica, con la manguera de desagüe aún colocada en la trampa de gases. El fermento se dejó en proceso de fermentación a temperatura ambiente, protegido del sol y la lluvia, durante un periodo de 20 a 30 días (hasta que no se observase burbujeo en la trampa atrapa gases).

Finalizado el tiempo de fermentación, se verificó la calidad del fermento líquido de microorganismos de montaña mediante el olor, que debía ser agradable y característico de una buena fermentación. Si el fermento presentara un olor a putrefacción, no podría ser usado, pues esta característica indica que el fermento se echó a perder.

2.3.3. Determinación del contenido nutrimental de los biofertilizantes

Una vez listos los bioles y microorganismos de montaña líquidos, se determinó el contenido nutrimental de cada elemento químico presente en los biofertilizantes, mediante un análisis específico basado en la NOM-021-RECNAT-2000 utilizando las técnicas de determinación (Tabla 5), con la finalidad de realizar una propuesta para el manejo nutrimental en la producción de jitomate.

Tabla 5. Determinación de parámetros químicos y técnicas para el análisis específico de los elementos nutrimentales de los bioles y microorganismos de montaña líquidos.

Determinación	Técnica
% de fósforo	Bray u Olsen (dependiendo del pH)
% de potasio	Flamometría
% de calcio	Flamometría
% de magnesio	Absorción Atómica
% de azufre	Turbidimetría

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

2.4. Elaboración de la propuesta nutritiva agroecológica

Para diseñar el modelo de nutrición agroecológico del cultivo de jitomate en invernadero producido en suelo, se consideró el contenido nutritivo del suelo, obtenido del análisis de fertilidad, así como el de la composta utilizada como enmienda durante la preparación del

terreno. Esto permitió determinar la cantidad de nutrientes disponibles para el establecimiento del cultivo. Otros elementos claves en el diseño del plan nutricional incluyeron el contenido específico de nutrientes de los bioles y microorganismos de montaña líquidos, obtenido del análisis nutrimental de estos productos; también se determinaron las cantidades de nutrientes que el cultivo de jitomate extraería basándose en un rendimiento esperado de 192 ton ha⁻¹ en 154 días de ciclo productivo con siete racimos en producción, tomando como referencia los valores de la Tabla 2.

A partir de estos datos, se propuso una solución nutritiva balanceada que consideró la relación mutua entre aniones NO₃, H₂PO₄ y SO₄ y cationes K, Ca y Mg (Steiner, 1984; Castellanos *et al.*, 2004; Castellanos, 2009; Escobar y Lee, 2009; Allende *et al.*, 2017). Esta solución se aplicó de forma semanal, suministrando la cantidad de nutrientes requeridos para cada periodo.

2.5. Registro de las temperaturas máximas y mínimas

Se registraron 94 mediciones de temperaturas máximas y mínimas a lo largo del ciclo productivo, utilizando un termómetro para exteriores marca Steren modelo TER-100. El periodo de medición inició el 2 de junio de 2023 y concluyó el 22 de octubre de 2023. Adicionalmente, se consultaron los registros de la estación meteorológica con clave 29002, ubicada en Apizaco, Tlaxcala, por ser la más cercana a la parcela experimental.

2.6. Variables agronómicas para evaluar los efectos sobre el uso de los biofertilizantes en el cultivo de jitomate en invernadero sembrado en suelo

Para medir la eficiencia de los bioles y microorganismos de montaña líquidos de autoproducción en el crecimiento y desarrollo del cultivo de jitomate en invernadero se evaluaron once variables agronómicas divididas en tres rubros: 1. Variables de crecimiento y desarrollo: altura de la planta, diámetro del tallo, peso seco en fruto, en hoja, en tallo y peso seco total; 2. Variables nutrimentales: contenido nutricional en solución del suelo, en hoja y fruto y 3. Variables de producción: tamaño de fruto y rendimiento por calibre y rendimiento

total. Para la medición de cada variable se utilizaron los métodos de medición que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Variables agronómicas evaluadas y métodos de medición en el cultivo de jitomate en invernadero.

Variables agronómicas	Método de medición
Altura de la planta	Medición con flexómetro.
Diámetro del tallo	Medición con vernier digital.
Peso seco en fruto	Secado de una muestra de jitomates por tratamiento y por repetición en estufa de secado digital marca Witeg a una temperatura constante de 68 °C y posteriormente pesado en una báscula analítica marca Wisd/WBA-0220 hasta tener un peso seco constante.
Peso seco en hoja	Secado de una muestra de las hojas una planta muestra de jitomate por tratamiento y por repetición de acuerdo a cada deshoje realizado durante el desarrollo del cultivo, este proceso se realizó en una estufa de secado digital marca Witeg a una temperatura constante de 68 °C y posteriormente pesado en una báscula digital marca Wisd/WBA-3200 hasta tener un peso seco constante.
Peso seco en tallo	Secado de una muestra del tallo de la planta de jitomate por tratamiento y por repetición constituida por 10 cm de la base del tallo, 10 cm del tallo medio y 10 cm del tallo alto en estufa de secado digital marca Witeg a una temperatura constante de 68 °C y posteriormente pesado en una báscula analítica marca Wisd/WBA-0220 hasta tener un peso seco constante.
Peso seco total	Suma de los pesos secos totales de fruto, hoja y tallo.
Rendimiento por calibre	Separación por tamaño con vernier digital AutoTEC y pesado de frutos con báscula digital Travessa con capacidad de 5,000 g (± 0.1 g) tomando como referencia la NMX-FF-031-1997.

Continuación de Tabla 6...

Rendimiento de jitomate	Pesado de los frutos al momento de la cosecha con báscula digital Travessa con capacidad de 5,000 g (\pm 0.1 g).
Vida de anaquel	Conteo de días hasta que el fruto de jitomate presente indicios de deshidratación (arrugas mayores a 5 mm), fruto aguadado o manchas en la superficie del jitomate mayores a 5 mm.

2.7. Análisis químicos de solución del suelo y tejido vegetal en hoja y fruto

2.7.1. Análisis químicos de solución del suelo

Para conocer el estado nutricional de la solución nutritiva suministrada al suelo a lo largo del experimento, se llevaron a cabo seis muestreos de la solución del suelo en diferentes momentos del desarrollo del cultivo, comenzando 14 días después del trasplante (ddt) con el primer muestreo, para el cual se colocaron seis lisímetros de forma aleatoria en la zona de cultivo del invernadero para tomar la muestra de la solución del suelo, apoyándose también con el uso de dos tensiómetros que indicaban el grado de humedad existente en el suelo y con ello mantener las camas de cultivo a capacidad de campo, tanto para un correcto manejo del riego, como para una correcta toma de muestra de la solución del suelo.

A partir del segundo al sexto muestreo se tomaron muestras combinadas a lo largo de 14 días dejando un periodo de 14 días entre muestra, colocando un lisímetro por tratamiento dentro de cada uno de los cuatro bloques del diseño experimental, esto con el fin de poder obtener un volumen suficiente de muestra para realizar los análisis químicos de ocho elementos nutritivos (nitrógeno, fósforo, azufre, cloro, calcio, potasio, magnesio y sodio) a través de los métodos de laboratorio mencionadas en la Tabla 7.

Tabla 7. Variables químicas evaluadas en la solución del suelo y métodos de medición.

Variables químicas	Método de medición
Nitrógeno nítrico	Método Kjeldahl por medio de arrastre de vapor y aleación de Barda
Nitrógeno amoniacal	Método Kjeldahl por medio de arrastre de vapor

Continuación de Tabla 7...

Nitrógeno total	Suma de N-NH_4^+ más N-NO_3^-
Fósforo	Fotocolorimetría
Azufre	Fotocolorimetría
Cloro	Flamometría
Calcio	Flamometría
Potasio	Flamometría
Magnesio	Absorción Atómica
Sodio	Flamometría

Fuente: Chapman y Pratt (1991); Alcántar y Sandoval (1999).

2.7.2. Análisis químicos de tejido vegetal en hoja y fruto

Los análisis de tejido en hoja y fruto se realizaron a través de una muestra combinada de los tejidos vegetales que se tomaron a los 100 ddt cuando la planta estaba en época de cosecha con la finalidad de conocer el estado nutrimental de la planta y del fruto.

Para el caso del tejido vegetal de hoja, se tomó una muestra compuesta por cada tratamiento la cual estuvo formada por seis folíolos de hojas recientemente desarrolladas (hojas que alcanzaron su capacidad funcional) de cada tratamiento y repetición (24 folíolos por tratamiento).

En el caso de tejido vegetal en fruto se consideraron frutos que alcanzaron su madurez fisiológica y una coloración de cosecha en tono dos y tres (NMX-FF-031-1997). Se tomó un fruto por tratamiento y por repetición para crear una mezcla compuesta de estos tejidos.

Para la preparación de las muestras, estas se lavaron con agua destilada y se secaron dentro de una estufa de secado Witeg a 68 °C hasta que alcanzaron un peso seco constante, posteriormente se trituraron en un molino Wiley ED-5 para obtener una muestra pulverizada, se tomaron 0.5 g de muestra con la cual se realizó una digestión ácida titulando 4 ml de mezcál diácida 4:2 a base de ácido sulfúrico y ácido perclórico, respectivamente, titulando posteriormente 4 ml de peróxido de hidrogeno al 30% calentando la mezcla en una plancha

de calentamiento hasta obtener una mezcla clarificada la cual se aforó a 50 ml con agua destilada; por último, se realizaron los análisis de tejidos, determinando el contenido de nitrógeno, fósforo, azufre, cloro, calcio, potasio, magnesio y sodio a través de los métodos mencionados en la Tabla 8.

Tabla 8. Variables químicas evaluadas en tejido vegetal de hoja y fruto y métodos de medición.

Variables químicas	Método de medición
Nitrógeno nítrico	Método Kjeldahl por medio de arrastre de vapor y aleación de Barda
Nitrógeno amoniacal	Método Kjeldahl por medio de arrastre de vapor
Nitrógeno total	Suma de N-NH ₄ ⁺ más N-NO ₃ ⁻
Fósforo	Fotocolorimetría
Azufre	Fotocolorimetría
Cloro	Flamometría
Calcio	Flamometría
Potasio	Flamometría
Magnesio	Absorción Atómica
Sodio	Flamometría

Fuente: Chapman y Pratt (1991); Alcántar y Sandoval (1999)

2.8. Evaluación financiera del cultivo de jitomate en invernadero sembrado en suelo

Para valorar el beneficio de la inversión con un manejo nutrimental agroecológico contra un manejo convencional en la producción de jitomate en invernadero, se realizó una evaluación financiera en la cual primero se determinó el costo de producción unitario calculando la suma de los costos variables, dividiendo el resultado entre el rendimiento total de cada tratamiento, posteriormente se calcularon la Relación Beneficio/Costo (R B/C), el Punto de Equilibrio (PE), el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), los métodos empleados para la determinación de dichas variables económicas se mencionan en la Tabla 9.

Tabla 9. Variables financieras evaluadas y métodos de medición en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo.

Variables económicas	Método de medición
Costos de Producción	Registro contable de costos de producción, que están compuestos por materias primas, mano de obra directa, mano de obra indirecta, materiales indirectos, costos de los insumos, costos de mantenimiento, y cargos por depreciación y amortización, así como también los ingresos obtenidos y determinándose el cociente de costos de producción entre el total de ingresos.
PE	El PE es el nivel de ingresos que igualan la totalidad de costos y gastos, donde el costo total está determinado por la suma de los costos fijos y los variables.
R B/C	Determinación del monto de ventas (Beneficio) y la suma de los costos directos e indirectos (Costo), llevados a valor presente para calcular la R B/C.
VPN	El VPN es la diferencia del valor presente neto de los flujos de efectivo y el valor actual de la inversión. Para determinarlo, se suman los valores actuales de los flujos netos de efectivo y se resta al valor presente de las inversiones netas.
TIR	La TIR es la tasa de descuento en la que el valor presente neto de una inversión es igual a cero, o la tasa de descuento que hace que los flujos netos de efectivo se igualen al monto de la inversión, calculándose primero el VPN del proyecto de inversión con la tasa mínima de rendimiento que se exige de acuerdo con el costo de capital promedio ponderado.

Fuente: Morales y Morales (2009).

2.9. Establecimiento del experimento con producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo

2.9.1. Elección del material vegetal

Para el establecimiento del experimento, se consideró la selección del material vegetal, la cual fue jitomate tipo saladette variedad Reserva F1 de la casa semillera Vilmorin-Mikado, la cual tiene hábito de crecimiento indeterminado, planta de buen vigor con entrenudos medianos, tolerancia al frío, alta productividad, frutos uniformes en forma y firmeza con

pesos promedio de los frutos entre 120-130 g, y tamaños promedio grandes (entre 59 - 70 mm), además de tener larga vida de anaquel (Vilmorin-Mikado, 2021).

2.9.2. Diseño de tratamientos

Los seis tratamientos utilizados en la fase experimental para evaluar el efecto de la nutrición mediante el uso de bioles y microorganismos de montaña líquidos de autoproducción en la producción de jitomate en invernadero se describen en la Tabla 10.

Tabla 10. Descripción de los tratamientos de fertilización utilizados en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo.

Tratamientos	Abreviaturas	Descripción del tratamiento
T1	Biol	Fertilización con biol (Biol). Este tratamiento consistió en la aplicación de una mezcla balanceada de los bioles enriquecidos con los minerales calcio, potasio, fósforo, magnesio y azufre.
T2	MML	Fertilización con microorganismos de montaña líquidos (MML). En este tratamiento se fertilizó con una mezcla balanceada de cada fermento de MML enriquecido con los minerales calcio, potasio, fósforo, magnesio y azufre.
T3	Biol + 50% FQ	La fertilización con biol + 50% de FQ. Incluyó el suministro de la nutrición de T1 + la mitad de fertilización química requerida.
T4	MML + 50% FQ	La fertilización con MML + 50% de FQ. Consistió en el suministro de la nutrición contemplada en el T2 + la mitad de fertilización química requerida.
T5	FQ	Fertilización química (FQ). Este tratamiento consideró el suministro de los nutrientes requeridos mediante fertilizantes químicos.

Continuación de Tabla 10...

T6	SA	Solo agua (SA). Este tratamiento fue un testigo blanco el cual fue fertilizado solo con el agua de riego sin ninguna fuente nutrimental adicionada.
----	----	---

2.9.3. Unidades experimentales

El diseño de las unidades experimentales se realizó en función de las dimensiones del invernadero donde se estableció el experimento, teniendo una superficie de 60 m² (6 m x 10 m). Se formaron dentro del invernadero 4 camas de cultivo de 80 cm de ancho por 9 m de largo, dejando un pasillo superior y uno interior de 50 cm, así como, pasillos entre surcos de 56 cm. Cada cama de cultivo se dividió en 6 secciones (una sección por tratamiento) con dimensiones de 80 cm ancho por 1.5 m de largo, cada sección fue separada por una barrera de hoja plástica colocada a lo ancho del surco y una profundidad de 30 cm para evitar contaminación entre tratamientos y efecto de orilla. En cada sección se dispuso una densidad de siembra de 10 plantas sembradas a 3 bolillo a doble línea sobre la cama y una separación entre planta de 30 cm contando con un total de 60 plantas por cama.

2.9.4. Diseño experimental

Para el desarrollo del experimento de nutrición de jitomate en invernadero sembrado en suelo, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con seis tratamientos y cuatro repeticiones, obteniendo 24 unidades experimentales en total, con una población de 10 plantas por tratamiento, lo que da un total de 240 plantas de jitomate en el experimento.

La Figura 2 muestra el diseño experimental dentro del invernadero para el cultivo de jitomate en suelo sorteando al azar la ubicación de los tratamientos en cada surco y cada repetición.

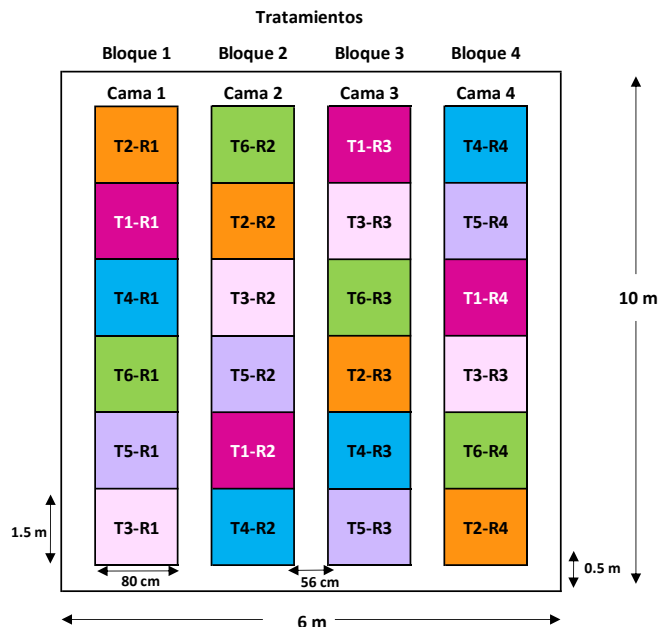


Figura 2. Diseño experimental dentro del invernadero en el cultivo de jitomate sembrado en suelo.

2.10. Análisis estadístico de resultados

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el software Statgraphics Centurion XVI.I. Se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas entre los datos obtenidos a través de la prueba de Bartlett con un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%, con la finalidad de validar la igualdad entre las varianzas de cada tratamiento y así, proceder con un Análisis de Varianza Multifactorial (ANOVA) contemplando un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%, para determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos. Para aquellos análisis que mostraron la existencia diferencia estadística significativas, se efectuó una comparación de medias utilizando una prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%.

3. Resultados y discusión

3.1. Interpretación del análisis de suelo y de composta

La determinación de las características físicas y químicas del suelo se obtuvieron a partir de un análisis de fertilidad de suelo, el cual se realizó con base a la norma NOM-021-RECNAT-2000 (Tabla 11), en la cual se destaca la textura del suelo (Arena-Francosa) constituido por 81% de arena, 12% de limo y 7% de arcilla, mostró un pH de 7.76, el cual es considerado ligeramente alcalino; presentó una conductividad eléctrica de 0.91 mS cm^{-1} considerada un valor bajo; además, tuvo un porcentaje de materia orgánica de 0.94% considerado bajo respecto a un valor deseable del 5%; contó con una densidad aparente de 1.38 ton m^{-3} que se considera ligeramente bajo con respecto al tipo de suelo; el valor reportado de la capacidad de intercambio catiónico fue de $9.65 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ de suelo seco, lo que sigue siendo un valor bajo.

Dentro de los elementos mayores y secundarios, se encontró al nitrógeno en forma de nitratos (N-NO_3) dentro de rangos adecuados; un valor alto de fósforo (P-PO_4) un valor de azufre de sulfatos S-SO_4 por debajo del nivel adecuado, el potasio (K) se halló por encima del nivel adecuado, el nivel de calcio (Ca) estuvo por debajo del mínimo adecuado y en cuanto al magnesio (Mg) se encontró en un nivel adecuado.

Con lo que respecta a los elementos menores el análisis de suelo mostró que el hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y boro (B) estaban dentro de los rangos adecuados.

Los resultados obtenidos del análisis de suelo indican que, a pesar de ser un suelo deficiente en materia orgánica, con un pH ligeramente alcalino, bajo en conductividad eléctrica, carente de calcio y azufre, es un suelo que puede soportar el cultivo de jitomate (Castellanos, 2009), aunque manifestó algunas implicaciones para la producción por la deficiencia en nutrientes que este presentó, por lo que fue adecuada la realización de una enmienda orgánica utilizando la composta reportada en la Tabla 12.

Tabla 11. Características físicas, químicas, rangos e interpretación del suelo del invernadero utilizado como parcela experimental en Xaloztoc, Tlaxcala.

Determinación	Resultado	Rangos	Interpretación
Textura	Arena 81% Limo 12% Arcilla 7%	-	Arena-Francosa
pH	7.76	6 - 7.5	Ligeramente alcalino
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0.91	1.5 - 2.5 mS cm ⁻¹	Bajo
Porcentaje de materia orgánica	0.94	5%	Bajo
Densidad aparente	1.38 ton m ⁻³	155 - 180 ton m ⁻³	Ligeramente bajo
Capacidad de intercambio catiónico	9.65 meq 100 g ⁻¹	-	-
Nitrógeno nítrico (N-NO ₃)	20 ppm	20-40 ppm	En rango
Fósforo de fosfatos (P-PO ₄)	38.4 ppm	20-30 ppm	Alto
Azufre de sulfatos (S-SO ₄)	20 ppm	60-100 ppm	Bajo
Potasio (K)	430 ppm	100-250 ppm	Alto
Calcio (Ca)	1,040.00 ppm	1500-3500 ppm	Bajo
Magnesio (Mg)	290 ppm	200-500 ppm	En rango
Hierro (Fe)	11.3 ppm	5-30 ppm	En rango
Zinc (Zn)	3 ppm	3-10 ppm	En rango
Cobre (Cu)	1.2 ppm	0.8-3 ppm	En rango
Manganeso (Mn)	5.2 ppm	5-15 ppm	En rango
Boro (B)	0.67 ppm	0.3-1.5 ppm	En rango

Fuente: Datos reportados por el laboratorio Phytomonitor.

El análisis realizado a la composta utilizada como enmienda orgánica reportó resultados de acuerdo a la NMX-AA-180-SCFI-2018 (Tabla 12), en los cuales se reportó un pH de 8.3, que, aunque está dentro de los niveles adecuados es considerado alcalino. Presentó una conductividad eléctrica de 2.82 mS cm⁻¹ la cual se encontró dentro del rango adecuado. La materia orgánica presente es ligeramente baja con un 18.19%; mostró una relación carbono/nitrógeno de 5.25 el cual presenta un estado de humificación avanzado. Con respecto a su valor nutrimental, presentó 544 ppm de nitrógeno en su forma nítrica y 100 ppm de nitrógeno amoniacal; 1,200 ppm de fósforo, 473 ppm de azufre, 2,127 ppm de cloruros, 8,500 ppm de potasio, 4,800 ppm de calcio, 2,300 ppm de magnesio y 304 ppm de sodio, elementos que se encuentran en niveles bajos y muy bajos de fertilidad de la composta, sin embargo,

aunque tiene niveles bajos de nutrición, las enmiendas minerales son benéficas para el suelo (Castellanos, 2009; Astera, 2010).

Tabla 12. Características físicas, químicas, rangos e interpretación de la composta aplicada como enmienda al suelo del invernadero utilizado como parcela experimental en Xaloztoc, Tlaxcala.

Determinación	Resultado	Rangos	Interpretación
pH	8.31	5.5 – 8.5	Alcalino
Conductividad eléctrica	2.82 mS cm ⁻¹	≤ 4 mS cm ⁻¹	En rango
Porcentaje de materia orgánica	18.19	18 - 20%	Ligeramente baja
Densidad	0.90 ton m ⁻³	0.40 – 0.90 ton m ⁻³	Ligeramente alto
Humedad	27.81%	20 – 50%	En rango
Ceniza	81.81%	-	-
Carbono	10.55%	-	-
Relación carbono/nitrógeno	5.25	10 - 30	Bajo
Nitrógeno nítrico (N-NO ₃)	0.05 %	-	-
Fósforo de fosfatos (P-PO ₄)	0.12 %	0.40 - 4.0 %	Muy bajo
Azufre de sulfatos (S-SO ₄)	0.05 %	0.10 - 0.50 %	Muy bajo
Cloruros (Cl)	0.21 %	0.30 - 1.00 %	Bajo
Potasio (K)	0.85 %	-	-
Calcio (Ca)	0.48 %	1.60 - 6.50 %	Muy bajo
Magnesio (Mg)	0.23 %	0.30 - 0.80 %	Bajo
Sodio (Na)	0.03 %	0.10 - 0.40 %	Muy bajo
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)	0.01 %	0.10 - 0.40 %	Bajo
Hierro (Fe)	4,650.00 ppm	5-30 ppm	En rango
Zinc (Zn)	49.00 ppm	3-10 ppm	En rango
Cobre (Cu)	9.0 ppm	0.8-3 ppm	En rango
Manganeso (Mn)	191.00 ppm	260 - 500 ppm	Muy bajo
Boro (B)	1.00 ppm	60 - 150 ppm	Muy bajo

Fuente: Datos reportados por el laboratorio Phytomonitor.

3.2 Enmiendas adicionadas al suelo de la parcela experimental

Se agregaron enmiendas orgánicas y minerales al suelo del invernadero utilizado como parcela experimental, cubriendo una extensión de 40 m² de área cultivable, de acuerdo a la

metodología de Astera (2010) y Larios (2021). Dentro de los materiales enmendados se incluyen: materia orgánica, azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y boro (B) en las proporciones indicadas en la Tabla 13.

Tabla 13. Enmiendas orgánicas y minerales adicionadas al suelo de la parcela experimental.

Elemento del suelo	Enmienda	Cantidad
Materia orgánica	Composta	250 kg
Fósforo (P-PO ₄)	Roca fosfórica (11% P)	3 kg
Azufre (S-SO ₄)	Azufre agrícola (93% S)	0.28 kg
Potasio (K)	-	-
Calcio (Ca)	Cal agrícola (38% Ca)	9 kg
Magnesio (Mg)	-	-
Hierro (Fe)	Sulfato de hierro (20% Fe)	0.67 kg
Zinc (Zn)	Sulfato de zinc (35% Zn)	0.12 kg
Cobre (Cu)	Sulfato de cobre (25% Cu)	0.10 kg
Manganeso (Mn)	Sulfato de manganeso (32% Mn)	0.22 kg
Boro (B)	Bórax (10% B)	0.02 kg

3.3. Análisis nutrimental de bioles y microorganismos de montaña líquidos

Los resultados específicos de los elementos químicos presentes en los bioles y microorganismos de montaña líquidos (Tabla 14) muestran que, a pesar de haberse utilizado la misma cantidad de potasio, magnesio y fósforo, en los biofertilizantes a base de microorganismos de montaña líquidos (MML) se obtuvo un 232% más de potasio en comparación al biol donde se utilizó este mismo mineral; en el MML se presentó el 17.5% más de magnesio en comparación con su homólogo biol; con lo que respecta al fósforo el biofertilizante a base de MML mostró un 11.4% más que el biol elaborado con ese mismo mineral. Sin embargo, los bioles donde se utilizó sulfato de magnesio (MgSO₄) y sulfato de potasio (K₂SO₄) como fuente de azufre mostraron un mejor resultado en comparación a los bioinsumos a base de MML mostrando tener un 35% más de azufre en los bioles que en MML.

Con respecto a los biofertilizantes de calcio (Ca) no se realizó la misma comparación debido a que en el biol a base de carbonato de calcio se utilizaron 6 kg, mientras que con los MML se utilizaron 10 kg de carbonato de calcio; por lo tanto, no fue posible hacer una relación de semejanza.

Tabla 14. Análisis nutrimental de biofertilizantes a base de bioles y microorganismos de montaña líquidos en el presente experimento.

Biofertilizante	pH	Ca (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	P (ppm)	S (ppm)
Biol Ca	4.9	4,009	-	-	-	-
Biol MgSO ₄	4.2	-	5,940	-	-	560
Biol K ₂ SO ₄	4.5	-	-	5,487	-	61
Biol P	4.4	-	-	-	5,160	-
MML Ca	12	11,279	-	-	-	-
MML MgSO ₄	3	-	6,980	-	-	360
MML K ₂ SO ₄	3.4	-	-	18,215	-	100
MML P	3.2	-	-	-	5,750	-

Fuente: Datos reportados por el laboratorio del Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas de la BUAP.

3.4. Solución nutritiva suministrada

Una vez que se tuvo el análisis de suelo, el análisis nutrimental de la composta, el análisis del contenido nutrimental de los biofertilizantes y la extracción de nutrientes del cultivo de jitomate producido en suelo (Castellanos *et al.*, 2004), para una meta de rendimiento de 192 ton ha⁻¹, se diseñó una solución nutritiva para los tratamientos T1, T2, T3 y T4 a una concentración de 10 meq (Tabla 15), en la cual se consideró la relación mutua entre aniones y cationes propuesta por Steiner (1984), de la siguiente manera: P (0.75 meq), Ca (4.5 meq), K (3.5 meq) Mg (2 meq). Cabe señalar que para T5 solo se tomó en cuenta el déficit requerido de los elementos nutrimentales para alcanzar el rendimiento esperado, siendo N el único nutriente necesario en un volumen de 1.94 kg, suministrado a través de Ca (NO₃)₂; para T6 no se consideró ninguna fuente nutrimental.

Tabla 15. Nivel de extracción de nutrientes, requerimientos nutricionales y concentración de la solución nutritiva para el cultivo de jitomate en invernadero en suelo con un rendimiento estimado de 192 ton ha⁻¹ con base a Castellanos *et al.* (2004) ajustando solución nutritiva de Steiner (1984).

Nutrimento	Coeficiente de extracción kg ton ⁻¹ (Castellanos <i>et al.</i> , 2004)	Nivel de extracción (kg ha ⁻¹) para un rendimiento de 340 ton ha ⁻¹ (Castellanos <i>et al.</i> , 2004)	Requerimiento nutrimental (kg ha ⁻¹) para una meta de 192 ton ha ⁻¹ en siete racimos	Requerimiento nutrimental del experimento (kg)	Nivel nutrimental en suelo del experimento (kg)	Aportación nutrimental de la enmienda realizada (kg)	Total de nutrientes disponibles (kg)	Requerimiento nutrimental del cultivo (kg)	Solución nutritiva Steiner ajustada a 10 meq para la nutrición del cultivo de jitomate en el experimento.					
									T1	T2	T3	T4	T5	T6
N	3	910	576	3.46	0.16	1.35	1.51	-1.94	-	-	3.00	3.00	6.00	-
P ₂ O ₅	1	646	192	1.15	0.72	0.50	1.22	0.07	0.75	0.75	0.75	0.75	-	-
K ₂ O	5	1,441	960	5.76	4.25	1.84	6.09	0.33	3.50	3.50	3.50	3.50	-	-
Ca	2.5	1,010	480	2.88	8.57	4.29	12.85	9.97	4.50	4.50	4.50	4.50	-	-
Mg	1	288	192	1.15	2.39	0.42	2.80	1.65	2.00	2.00	2.00	2.00	-	-

Fuente: Castellanos *et al.* (2004); Steiner (1984).

En la Tabla 16 se presenta la composición de la solución nutritiva utilizada como medio de nutrición de los seis tratamientos evaluados. El suministro de esta solución inició a partir del día 21 ddt, ya que, durante la primera fase de desarrollo del cultivo, los requerimientos nutrimentales de la planta de jitomate fueron cubiertos por los nutrientes disponibles en el suelo y por las enmiendas previamente aplicadas. La nutrición de la planta se realizó mediante aplicaciones semanales que contenían los nutrientes necesarios para cada periodo. El suministro de la solución nutritiva concluyó a los 140 ddt, es decir, 14 días antes de finalizar el ciclo productivo, momento en que las plantas y los frutos habían alcanzado el crecimiento esperado, dejando que los frutos completaran su maduración (Castellanos, 2009; Hernández *et al.*, 2014).

Tabla 16. Soluciones nutritivas empleadas por tratamiento para cada 1,000 L de agua de riego suministrada en la producción de jitomate en invernadero cultivado en suelo en el presente experimento.

Fertilizante	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	Biol	MML	Biol + 50% FQ	MML + 50% FQ	FQ	SA
Biofertilizante Ca (L)	22.4	8.0	22.4	8.0	-	-
Biofertilizante K (L)	24.9	7.5	24.9	7.5	-	-
Biofertilizante Mg (L)	4.0	3.4	4.0	3.4	-	-
Biofertilizante P (L)	4.5	4.0	4.5	4.0	-	-
Ca (NO ₃) ₂ (g)	-	-	210	210	420	-

Las unidades aplicadas de biofertilizante fueron en L y en fertilizante químico en g.

3.5. Temperaturas máximas y mínimas

Las temperaturas máximas registradas por la estación meteorológica 29002 situada en el municipio de Apizaco, Tlaxcala oscilaron entre 21 y 31°C, con un promedio de 25.3 °C; mientras que las temperaturas mínimas estuvieron entre 8 y 11 °C, con un promedio de 9.8 °C.

Dentro del invernadero, las temperaturas máximas variaron entre 25.2 y 43.1 °C, mientras que las mínimas se estuvieron en un rango de 4.9 a 13.4 °C. A lo largo del ciclo productivo, las temperaturas promedio mínima y máxima registradas en el interior del invernadero fluctuaron entre 9.5 y 35.9 °C (Figura 3).

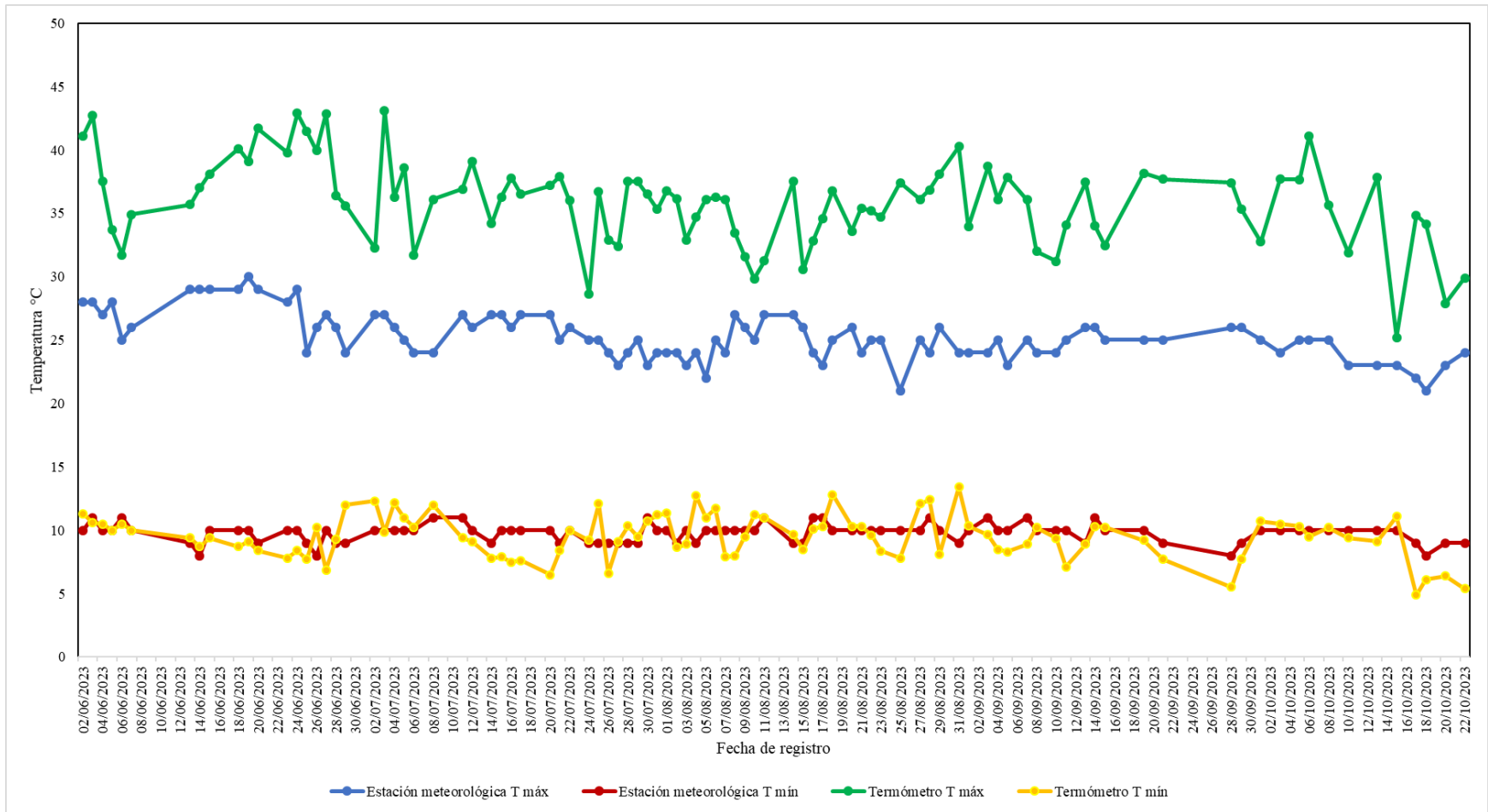


Figura 3. Temperaturas máximas y mínimas registradas en el interior del invernadero y por la estación meteorológica de Apizaco, Tlaxcala.

El análisis mostró que las temperaturas máximas al interior del invernadero fueron en promedio 10.6 °C más altas que las registradas por la estación meteorológica. En contraste, las temperaturas mínimas promedio fueron 0.3 °C más bajas en el interior del invernadero.

Estos resultados coincidieron con los reportados por Zermeño *et al.* (2021) quienes observaron temperaturas promedio más altas (21.10 °C) al interior de los invernaderos evaluados en comparación con las registradas a cielo abierto (17.84 °C), debido al uso de cubiertas plásticas, las cuales permiten generar un ambiente favorable para el cultivo de jitomate, que requiere temperaturas diurnas entre 20 y 30 °C y nocturnas entre 10 y 17 °C (Argerich *et al.*, 2011; López, 2017) para lograr un desarrollo y crecimiento óptimo, contribuyendo también en procesos fundamentales como la floración, polinización, fructificación, amarre, crecimiento del fruto, sanidad del cultivo y en la obtención de un buen rendimiento (Castellanos, 2009; Jaramillo *et al.*, 2012; Allende *et al.*, 2017; Lobos *et al.*, 2022).

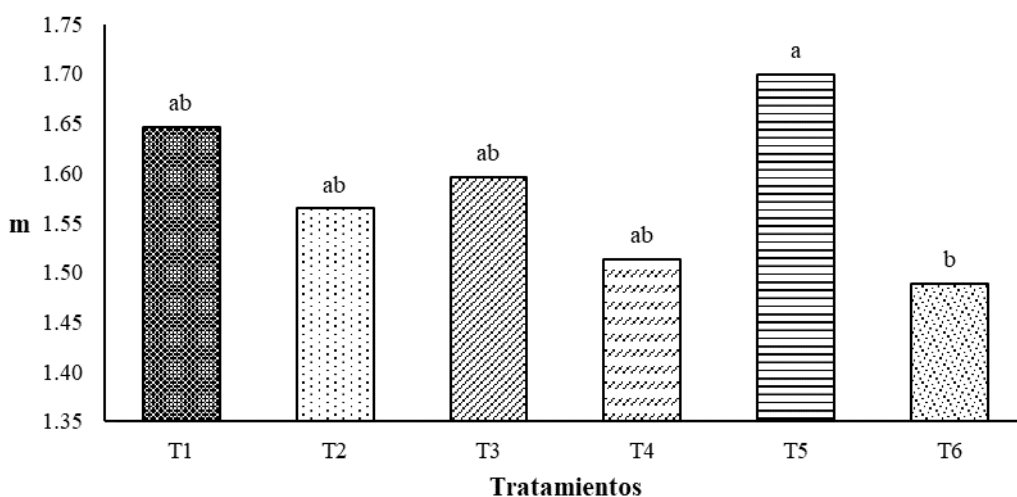
3.6. Variables de crecimiento y desarrollo

3.6.1. Altura de planta

El primer análisis realizado a los datos obtenidos de la variable altura de planta fue la de homogeneidad de varianzas a través de la prueba de Bartlett, en el cual el valor de $P=0.360$, indicando que las variables fueron homogéneas, lo cual permitió continuar con los demás análisis estadísticos.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para validar la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos en la variable altura de planta, obteniendo un valor de $P=0.027$, como $P < \alpha$, donde $\alpha=0.05$ con un nivel de confianza del 95%, se corroboró la existencia de diferencias significativas en al menos una de las alturas promedio de las plantas de los diferentes tratamientos. Por lo tanto, se procedió a la realización de un análisis de medias utilizando la prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$ obteniendo las diferencias significativas entre los tratamientos. En la Figura 4 se muestra que el tratamiento con mayor significancia fue T5 en comparación a T6, sin embargo, los tratamientos donde se utilizaron bioles y MML (T1, T2, T3 y T4) no mostraron diferencia estadística con respecto a T5 y a T6. Por su parte,

Capulin *et al.* (2011) reportan resultados similares en cuanto a la altura de planta de jitomate, sin diferencias significativas utilizando como nutrición extracto líquido de estiércol bovino y un manejo nutrimental químico. Por otro lado, Díaz (2021), al evaluar el crecimiento en altura de la planta de jitomate utilizando enmiendas orgánicas y nutrición química, tampoco mostró diferencias estadísticas en los tratamientos evaluados. Así mismo, Vessey (2003) y González, Gallegos, *et al.* (2021) destacan que el uso de fuentes de nutrición orgánica favorecen la disponibilidad de nutrientes, lo cual promueve un crecimiento en las plantas similar al efecto de un fertilizante químico.



Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$)

Figura 4. Comparación de altura de la planta (m) de jitomate en el presente experimento.

3.6.2. Diámetro del tallo

Respecto al diámetro de tallo, y después de validar la homogeneidad de las varianzas mediante la prueba de Bartlett en la cual al obtener un valor de $P=0.647$, se realizó un análisis de varianza multivariado en el cual se corroboró mediante el valor obtenido de $P=0.185$ considerando un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95% que en esta variable no se encuentran diferencias estadísticas entre los diámetros de los tallos de los seis tratamientos (Tabla 17), sin embargo, se observó una tendencia a que las plantas que tuvieron un manejo químico (T5) y las que tuvieron nutrición con bioles más 50% de nutrición química, mostraron un mayor diámetro en tallo en comparación con los demás tratamientos. Estos resultados concuerdan con los reportados por Capulin *et al.* (2011) quienes, al utilizar una

nutrición con extractos líquidos de estiércol bovino, tampoco encontraron diferencias estadísticas en comparación a una nutrición química. Efectos similares fueron reportados por Gómez y Morales (2020) quienes observaron que el manejo agroecológico del cultivo de jitomate no mostró diferencias significativas en comparación con un manejo químico en el diámetro de tallo. Por lo tanto, una fertilización compuesta por insumos orgánicos podría ser una alternativa que brinde una adecuada nutrición a las plantas de jitomate, lo cual podría deberse a que los bioles y MML contenían los nutrientes disponibles para la planta, acentuándose este efecto mediante la posible inoculación de microorganismos promotores de crecimiento y desarrollo vegetal presentes en los bioinsumos utilizados (Sánchez *et al.*, 2012; Cano *et al.*, 2016; Espinosa *et al.*, 2017).

Tabla 17. Comparación de diámetro medio del tallo (mm) en planta de jitomate en el presente experimento.

Tratamiento	Promedio mm		e. e.	Análisis de medias Tukey
T1	13.01	±	0.370	a
T2	13.41	±	0.440	a
T3	14.13	±	0.807	a
T4	13.34	±	0.481	a
T5	14.59	±	0.591	a
T6	12.72	±	0.296	a

e. e. = Error estándar.

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias ($P \leq 0.05$).

3.6.3. Materia seca en fruto

En el análisis estadístico de la variable materia seca en fruto (Tabla 18), se observó que existe homogeneidad de las variables, debido a que al realizar la prueba de Bartlett se obtuvo una $P=0.120$, al ser $P > \alpha$ se confirma estadísticamente esa homogeneidad. Por otra parte, el análisis ANOVA se obtuvo una $P=0.060$, por lo que no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos debido a que la $P > \alpha$, donde $\alpha=0.05$ y con un nivel de confianza del 95%. Sin embargo, se pudo apreciar una tendencia por parte del T2 a obtener mayor materia seca con respecto a los demás tratamientos. En cuanto a la producción de biomasa en fruto, Barrios *et al.* (2023) encontraron que existen diferencias estadísticas con el uso de enmiendas orgánicas más el 100% de nutrición química en comparación al tratamiento orgánico; estos

autores coinciden con Terry *et al.* (2018) quienes refieren que la utilización de biofertilizantes tienden a mejorar la calidad en los frutos, incrementando la cantidad de carbohidratos y fibras en ellos, lo que genera una mayor masa.

Tabla 18. Comparación de % de materia seca en fruto de jitomate en el presente experimento.

Tratamiento	Promedio kg planta ⁻¹		e. e.	Análisis de medias Tukey
T1	0.045	±	0.0017	a
T2	0.054	±	0.0042	a
T3	0.047	±	0.0016	a
T4	0.048	±	0.0022	a
T5	0.044	±	0.0006	a
T6	0.042	±	0.0023	a

e. e. = Error estándar.

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias ($P \leq 0.05$).

3.6.4. Materia seca en hoja

Los datos de la variable materia seca en hoja fue analizada estadísticamente en una primera instancia mediante la prueba de Bartlett, en la cual se validó la homogeneidad de las varianzas, obteniendo una $P=0.534$, al ser $P > \alpha$ y tomando en cuenta que $\alpha=0.05$, se confirmó estadísticamente la homogeneidad de los datos de los tratamientos, por lo que fue posible realizar un análisis de varianza y una comparación de medias. Los resultados que brindó el análisis ANOVA, indicaron que al menos un tratamiento presentó diferencias significativas, ya que el valor obtenido de $P=0.030$, siendo $P < \alpha$, y $\alpha=0.05$ con un nivel de confianza del 95%. Con el análisis de comparación de medias utilizando la prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95% se obtuvieron las diferencias estadísticas de los tratamientos, las cuales se puede observar en la Figura 5, donde T5 fue el tratamiento que generó mayor materia seca en hoja, mientras que T1, T2 y T6 no tuvieron diferencia estadística con este. Por otro lado, T3 y T4 mostraron diferencias estadísticas en la variable materia seca en hoja.

En un estudio de Funes *et al.* (2022) evaluaron la materia seca en la producción de lechuga y de jitomate con un manejo químico vs uso de biofertilizantes líquidos, entre ellos los bioles, mostraron resultados similares al obtenido en este estudio, al encontrar un mayor porcentaje de materia seca con el tratamiento químico en comparación al orgánico; sin embargo, dentro

de los biofertilizantes analizados, los bioles obtuvieron mejores resultados. Por otra parte, Barrios *et al.* (2023) evaluaron la materia seca en hojas usando enmiendas orgánicas complementadas con una nutrición química vs un tratamiento orgánico y un tratamiento con nutrición química en la producción de jitomate cultivado en suelo dentro de un invernadero, en el cual, no encontraron diferencias estadísticas entre los diferentes tratamientos en cuando al porcentaje de materia seca en hoja del cultivo. Terry *et al.* (2018) mencionan que una nutrición orgánica puede favorecer el contenido de materia seca al permitir una liberación gradual y eficiente de los nutrientes.

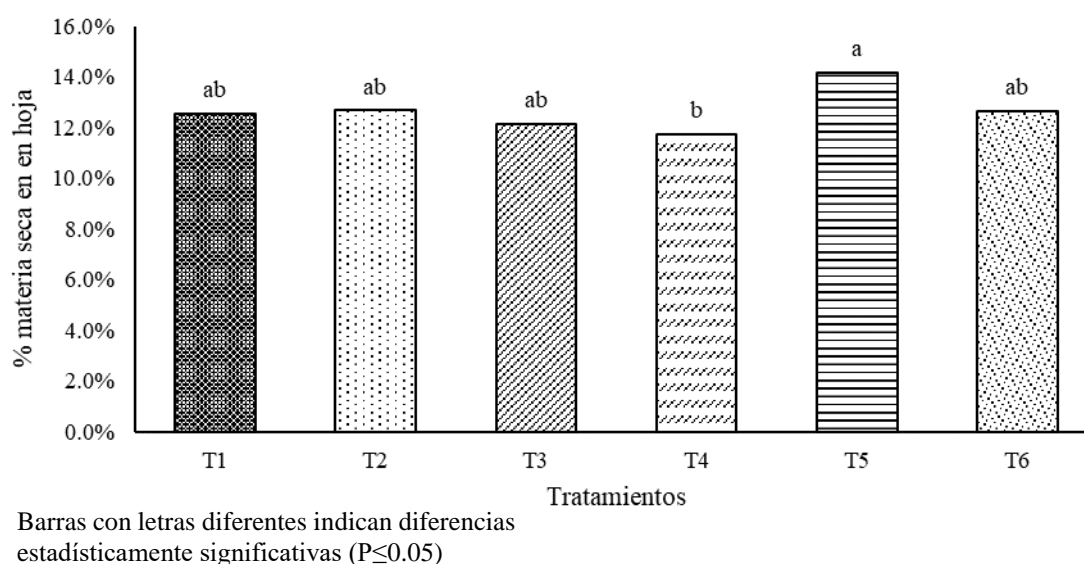


Figura 5. Comparación de % de materia seca en hojas de plantas de jitomate en el presente experimento.

3.6.5. Materia seca en tallo

La variable materia seca en tallo se analizó a través de la prueba de Bartlett para validar la existencia de homogeneidad de las varianzas, este análisis arrojó un valor de $P=0.720$, por lo que al ser $P > \alpha$, siendo $\alpha=0.05$, se corroboró estadísticamente que las varianzas de los seis tratamientos fueron homogéneas, lo que permitió realizar un análisis de varianza y una comparación de medias sobre dichos datos. En el análisis de varianza se obtuvo un valor de $P=0.011$, y dado que $P < \alpha$, y considerando que $\alpha=0.05$, con un nivel de confianza del 95% se corroboró la existencia de diferencias estadísticas significativas en al menos uno de los tratamientos, por lo que al realizar el análisis de comparación de medias utilizando la prueba

de Tukey con un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95% se encontraron diferencias entre las medias, siendo T5 quien mostró tener una mayor significancia en contraste con T1 y T6 que resultaron significativamente diferentes a este. En la Figura 6 se muestra gráficamente dicha significancia, mostrando también que T2, T3 y T4 no tuvieron diferencia estadística con respecto a T5. Por su parte, Funes *et al.* (2022) también encontraron diferencias estadísticas en la generación de materia seca con un manejo químico en comparación al uso de biofertilizantes líquidos; pudiendo deberse a que la fertilización química generó una disposición más rápida de nutrientes (García, Castro y Moreno, 2021), como el nitrógeno, el cual actúa como un elemento estructurador de tejidos en las plantas (Rodríguez y Flores, 2004).

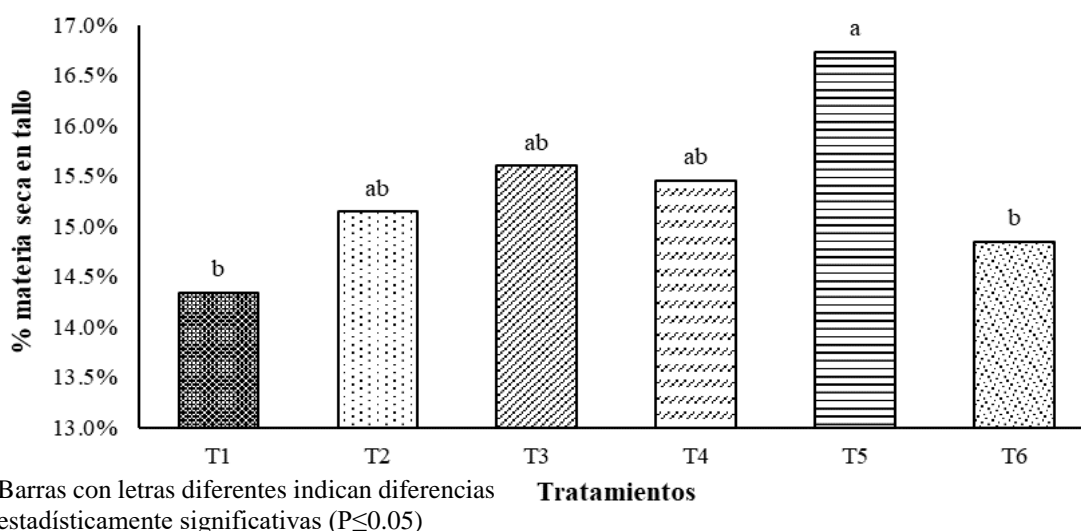


Figura 6. Comparación de % de materia seca en tallo de plantas de jitomate en el presente experimento.

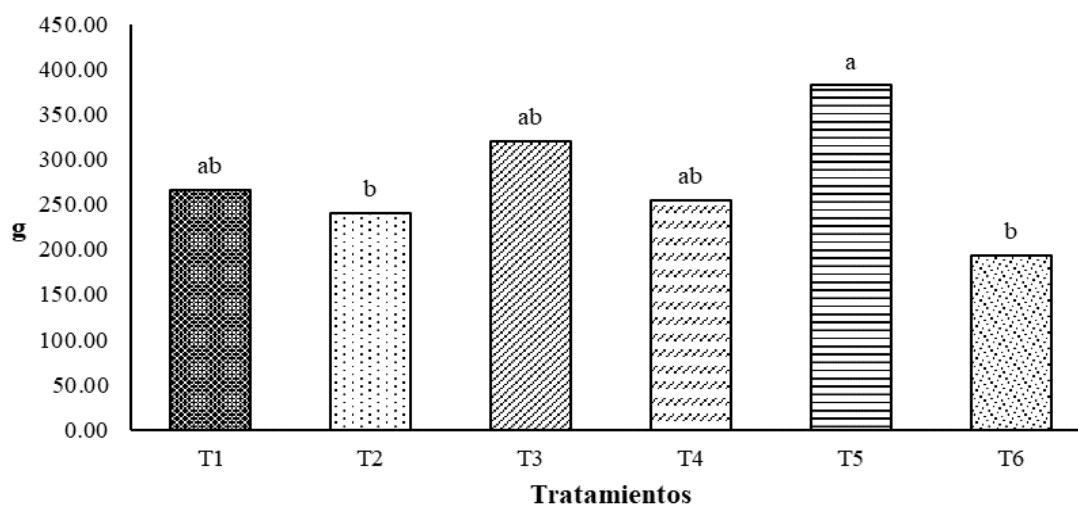
3.6.6. Materia seca total

Para la variable materia seca total, la prueba de Bartlett arrojó una $P=0.202$, dado que $P > \alpha$ y $\alpha=0.05$, se confirmó estadísticamente que los datos de los seis tratamientos fueron homogéneos. Por su parte, el resultado del análisis de varianza realizado a los datos de la variable materia seca total mostró que al menos un tratamiento tuvo diferencias estadísticas significativas al obtenerse un valor de $P=0.005$, ya que $P < \alpha$, $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%. Para identificar los tratamientos con diferencias estadísticas se procedió a relajar

un análisis de comparación de medias utilizando la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95% mostrando que el T5 fue el tratamiento con mayor significancia en comparación con T2 y T6, mientras que T1, T3 y T4 no presentaron diferencias significativas con respecto a T5, T2 y T6. En la Figura 7 se muestra dichas significancias, observándose que T5 fue el tratamiento que generó mayor materia seca total.

Un estudio realizado por Capulín *et al.* (2011) no mostró diferencias significativas en la generación de materia seca en el cultivo de jitomate al aplicar fermentos líquidos de estiércol bobino y fertilización mineral, destacando que el uso de fertilizantes orgánicos puede mejorar el rendimiento de las plantas, a través del incremento en su biomasa.

Por otra parte, Funes *et al.* (2022) reportaron diferencias estadísticas a favor de una fertilización química en comparación a la aplicación de bioles, destacando que el uso de fuentes químicas de nutrición pueden ser rápidamente asimiladas por la planta en comparación con las fuentes orgánicas, sin embargo, las fuentes orgánicas permiten brindar nutrientes por más tiempo gracias a los microorganismos solubilizadores de nutrientes (Zeballos, 2017; Castro y González, 2021; Allouzi *et al.*, 2022).



Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$)

Figura 7. Comparación de materia seca total (g) de plantas de jitomate por tratamiento en el presente experimento.

3.7. Datos químicos de la solución del suelo

Los resultados de los análisis químicos realizados a la solución del suelo cuantificaron la presencia y variación de ocho elementos nutrimentales (nitrógeno, fósforo, azufre, cloro, calcio, potasio, magnesio y sodio) en seis puntos de muestreo a lo largo del ciclo productivo (14 ddt, 42 ddt, 70 ddt, 98 ddt, 126 ddt y 154 ddt) tomando como valores de referencia los niveles mínimos y máximos de Castellanos (2009) y Barker y Pilbeam (2015).

3.7.1. Nitrógeno (N-NH₄, N-NO₃, N-total) en la solución del suelo

En las Tablas 19, 20 y 21 se observan los resultados de la presencia de nitrógeno en su forma amoniacal, nítrica y total respectivamente.

La presencia del nitrógeno amoniacal (N-NH₄) a lo largo del ciclo de producción se muestra en la Tabla 19. La concentración inicial fue de 5.83 mg L⁻¹ a los 14 ddt, incrementándose a los 42 ddt, disminuyendo hacia los 70 ddt y luego aumentando entre los 98 ddt y 126 ddt, principalmente en los tratamientos T3, T4, T5 y T6. En T1, T2, el nitrógeno amoniacal disminuyó continuamente a lo largo del ciclo de producción, posiblemente debido a que la única fuente de nitrógeno amoniacal fue la composta, que pudo haber sido absorbida por la planta, mientras que otra fracción quizá se transformó en nitratos por parte de los microorganismos del suelo, como describen Cerón y Ancízar (2012). Por otra parte, Jorge *et al.* (2018) encontraron que el amonio disminuye con el tiempo en procesos de compostaje, debido a su conversión en nitratos a través de bacterias nitrificantes.

En la Tabla 20 se observa la presencia de nitrógeno en su forma nítrica (N-NO₃). Al inicio del ciclo, había 11.20 mg L⁻¹ de N-NO₃ con una tendencia a disminuir a lo largo del ciclo productivo en cada tratamiento, indicando un consumo de este elemento por parte de las plantas, sin embargo, T5 mostró una mayor concentración desde los 42 ddt, probablemente debido al uso de nitrato de calcio (Ca (NO₃)₂) como fuente de fertilización, lo cual resultó en una mayor presencia de N-NO₃ a diferencia de los demás tratamientos. Las fluctuaciones de los otros tratamientos fueron similares a lo largo de los seis muestreos, comenzando con niveles altos y disminuyendo a través del tiempo, tendencia que observaron Iocoli y Gómez

(2015) en lechuga, sugiriendo que este elemento fue consumido a lo largo del crecimiento del cultivo y pudo haber disminuido por lixiviación o volatilización.

Con respecto al contenido de nitrógeno total (N-total) en solución del suelo (Tabla 21), se observa un incremento en su presencia a partir de los 42 ddt en T2, T3, T4, T5 y T6. Esto puede atribuirse a que el requerimiento nutrimental de la planta es menor en la etapa vegetativa que en las etapas de floración, fructificación y cosecha, lo que resultó en una menor absorción durante el primer periodo de crecimiento del cultivo, como lo muestra Hernández *et al.* (2014) al analizar los niveles nutrimentales de la solución del suelo en la producción de jitomate definiendo un nivel de 90 mg L⁻¹ en la etapa de emisión del primer racimo floral. En contraste, T1 mostró menor presencia de nitrógeno total, posiblemente debido a su absorción por el cultivo o a pérdida por lixiviación o volatilización como lo sugiere Iocoli y Gómez (2015).

También se obtuvo, un mayor consumo de nitrógeno en la muestra tomada a los 70 ddt, cuando la planta estaba en etapa de amarre y crecimiento del fruto, lo que coincide con una mayor necesidad de nutrientes en esta etapa, disminuyendo la presencia de nitrógeno en el suelo (Hernández *et al.*, 2014). Así mismo se observó que los tratamientos T3, T4, T5 mostraron aumentos en los niveles de N-total a los 126 ddt, esto se pudo deber al uso de Ca (NO₃)₂ como fuente de nutrición en estos tratamientos, lo cual resultó en una mayor presencia de N-total en la solución del suelo, en contraste a T1 y T2, que mantuvieron niveles bajos de este elemento.

Una tendencia que se observó en el nitrógeno en sus formas amoniacal, nítrica y total fue la disminución de la cantidad de estos elementos en todos los tratamientos dentro de las muestras tomadas a los 154 ddt. Esto pudo deberse a que 14 días antes de la toma de muestra se dejó de suministrar nutrición, aplicando únicamente agua de riego, ya que el fruto de jitomate había alcanzado su madurez fisiológica y solo se esperaba que desarrollara coloración para su corte, por lo que, regar con solo agua pudo causar un lavado o lixiviación de los nutrientes en el suelo, asentándose aún más este efecto al ser un suelo con textura arena-francosa. Este efecto fue reportado por Daza *et al.* (2018) quienes observaron en la producción de *Ocimum basilicum* L que el uso de abonos orgánicos facilita la formación de

agregados en suelo, lo cual permite una mayor infiltración del agua y de los nutrientes presentes en ella.

3.7.2. Fósforo en la solución del suelo

La presencia del elemento fósforo en la solución del suelo (Tabla 22) mostró tendencias a la alza en todos los tratamientos a lo largo del ciclo productivo, aun cuando a T5 y T6 no se aplicó ninguna fuente de este elemento en la solución nutritiva; por lo que, los niveles de fósforo pudieron deberse a la mineralización o hidrólisis de los valores reportados en el análisis de fertilidad de suelo, de la composta utilizada, así como, de la enmienda mineral realizada con roca fosfórica a través de los microorganismos presentes en el suelo y en los materiales orgánicos utilizados como enmiendas, los que hicieron disponible dicho elemento a las plantas, como lo mencionan Cerón y Ancízar (2012) y como lo reportaron García *et al.* (2023) al registrar incrementos en las concentraciones de fósforo a lo largo de 126 días en el cultivo de jitomate (1.65 mg L⁻¹ a los 45 ddt, 2.69 mg L⁻¹ a los 70 ddt, 3.00 mg L⁻¹ a los 90 ddt, 5.27 mg L⁻¹ a los 120 ddt y 6.61 mg L⁻¹ a los 126 ddt).

3.7.3. Azufre en la solución del suelo

En la Tabla 23 se observa la presencia del elemento azufre a lo largo del ciclo productivo, iniciando con 5.8 mg L⁻¹ y mostrando una tendencia a elevarse hacia los 14 ddt. Se observa un incremento principalmente en T1, T2, T3 y T4, mientras que en T5 y T6 se ve un claro descenso durante todo el periodo de producción, después de alcanzar su nivel más alto en la muestra tomada a los 70 ddt, observándose un decremento hacia el final de la producción. Las variaciones que presentaron T1, T2, T3 y T4, en cuanto al incremento de azufre en la solución del suelo, pudieron deberse a que los biofertilizantes utilizados (Biol y MML) contenían azufre en sus formulaciones, ya que se utilizó sulfato de magnesio y sulfato de potasio en su elaboración. Por lo tanto, se aplicó el elemento azufre a lo largo de toda la etapa de fertilización, mientras que en T5 y T6 no se aplicó ninguna fuente de fertilización a base de este elemento, salvo la aplicada durante el balance mineral del suelo. Se observó también, que al final del ciclo productivo la concentración de azufre disminuyó, lo que pudo deberse a una lixiviación o lavado de este mineral en su forma inorgánica (SO₄) o elemental, como

lo mencionan Barattini y Hepp (2019), debido a la fertirrigación con solo agua hacia el final del ciclo productivo.

3.7.4. Cloro en la solución del suelo

En cuanto al cloro, se observó una alta presencia en la solución del suelo en forma de cloruros. En el primer registro se encontró una concentración de 405.71 mg L^{-1} presentando tendencias de consumo, reintegración y aumento. Las fluctuaciones de cloruros a lo largo del ciclo productivo (Tabla 24) se mantuvieron en un rango de 348.59 a 443.13 mg L^{-1} , lo cual representa cantidades relativamente altas, que pueden afectar el rendimiento productivo de algunos cultivos, sin embargo, el jitomate es un cultivo moderadamente sensible a la salinidad, de acuerdo a Rudolph *et al.* (2022), teniendo un umbral de salinidad del suelo con respecto a la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo de 2.5 dS m^{-1} para evitar pérdida de rendimiento en el cultivo. A pesar de los altos valores de cloruros a lo largo de la producción, éstos estuvieron dentro de los rangos adecuados, y el cultivo no presentó afecciones por la concentración de este elemento.

Tabla 19. Amonio (NH₄) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L⁻¹).

Tratamiento	14 ddt	42 ddt	e.e.	70 ddt	e.e.	98 ddt	e.e.	126 ddt	e.e.	154 ddt	e.e.
T1	5.83 vi	7.00 ± 0.40 d		16.10 ± 0.81 a		12.60 ± 0.40 b		7.00 ± 0.40 c		7.00 ± - a	
T2	5.83 vi	20.30 ± 0.40 c		11.20 ± 0.40 b		11.90 ± 0.40 b		7.00 ± 0.40 c		7.00 ± 0.40 a	
T3	5.83 vi	21.00 ± - c		7.00 ± 0.40 c		8.40 ± 0.40 c		29.40 ± 0.40 a		7.00 ± 0.40 a	
T4	5.83 vi	28.70 ± 0.40 ab		7.00 ± 0.40 c		8.40 ± 0.40 c		28.70 ± 0.40 ab		7.00 ± - a	
T5	5.83 vi	30.10 ± 0.40 a		11.20 ± 0.40 b		18.20 ± 0.40 a		27.30 ± 0.40 b		7.00 ± - a	
T6	5.83 vi	27.30 ± 0.81 b		12.60 ± 0.81 b		18.90 ± 0.40 a		27.30 ± 0.40 b		7.00 ± 0.40 a	
Mínimo	0.90	0.90		0.90		0.90		0.90		0.90	
Máximo	14.40	14.40		14.40		14.40		14.40		14.40	

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tukey, P≤0.05); e. e. = Error estándar; vi = Valor inicial; ddt = días después de trasplante; Niveles máximos y mínimos tomados de Barker y Pilbeam (2015).

Tabla 20. Nitratos (NO₃) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L⁻¹).

Tratamiento	14 ddt	42 ddt	e.e.	70 ddt	e.e.	98 ddt	e.e.	126 ddt	e.e.	154 ddt	e.e.
T1	11.20 vi	3.50 ± 0.40 bc		4.20 ± 0.40 a		2.10 ± - c		2.10 ± - b		0.70 ± - b	
T2	11.20 vi	3.50 ± 0.40 bc		3.50 ± - a		2.10 ± 0.40 c		2.10 ± - b		0.70 ± - b	
T3	11.20 vi	2.80 ± - c		4.20 ± 0.40 a		2.80 ± - c		2.10 ± - b		0.70 ± - b	
T4	11.20 vi	4.90 ± 0.40 ab		4.90 ± - a		5.60 ± 0.40 b		2.10 ± - b		1.40 ± - a	
T5	11.20 vi	5.60 ± - a		4.90 ± 0.40 a		13.30 ± 0.40 a		9.80 ± 0.40 a		1.40 ± - a	
T6	11.20 vi	4.90 ± 0.40 ab		4.20 ± - a		5.60 ± 0.40 b		2.10 ± - b		1.40 ± - a	
Mínimo	28.00	28.00		28.00		28.00		28.00		28.00	
Máximo	196.00	196.00		196.00		196.00		196.00		196.00	

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tukey, P≤0.05); e. e. = Error estándar; vi = Valor inicial; ddt = días después de trasplante; Niveles máximos y mínimos tomados de Barker y Pilbeam (2015).

Tabla 21. Nitrógeno total (N-Total) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L⁻¹).

Tratamiento	14 ddt	42 ddt	e.e.	70 ddt	e.e.	98 ddt	e.e.	126 ddt	e.e.	154 ddt	e.e.
T1	17.03 vi	10.50 ± 0.81 d		20.30 ± 0.40 a		14.70 ± 0.40 c		9.10 ± 0.40 d		7.70 ± -	a
T2	17.03 vi	23.80 ± 0.81 c		14.70 ± 0.40 b		14.00 ± -	c	9.10 ± 0.40 d		7.70 ± 0.40	a
T3	17.03 vi	23.80 ± - c		11.20 ± -	c	11.20 ± 0.40 d		31.50 ± 0.40 b		7.70 ± 0.40	a
T4	17.03 vi	33.60 ± - ab		11.90 ± 0.40 c		14.00 ± -	c	30.80 ± 0.40 bc		8.40 ± -	a
T5	17.03 vi	35.70 ± 0.40 a		16.10 ± -	b	31.50 ± 0.81 a		37.10 ± -	a	8.40 ± -	a
T6	17.03 vi	32.20 ± 0.40 b		16.80 ± 0.81 b		24.50 ± 0.81 b		29.40 ± 0.40 c		8.40 ± 0.40	a
Mínimo	28.90	28.90		28.90		28.90		28.90		28.90	
Máximo	210.40	210.40		210.40		210.40		210.40		210.40	

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tukey, P≤0.05); e. e. = Error estándar; vi = Valor inicial; ddt = días después de trasplante; Niveles máximos y mínimos tomados de Barker y Pilbeam (2015).

Tabla 22. Fósforo (P) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L⁻¹).

Tratamiento	14 ddt	42 ddt	e.e.	70 ddt	e.e.	98 ddt	e.e.	126 ddt	e.e.	154 ddt	e.e.
T1	0.93 vi	2.91 ± 0.06 b		1.73 ± 0.01 d		3.63 ± 0.14 cd		3.73 ± 0.09 c		4.44 ± 0.14	b
T2	0.93 vi	1.38 ± 0.04 c		3.32 ± 0.09 c		2.86 ± 0.13 c		2.92 ± 0.13 d		3.21 ± 0.05	c
T3	0.93 vi	3.45 ± 0.13 b		3.27 ± 0.12 c		3.42 ± 0.18 cd		3.72 ± 0.26 c		4.29 ± 0.04	b
T4	0.93 vi	3.45 ± 0.11 b		3.27 ± 0.10 c		3.89 ± 0.29 bc		3.40 ± 0.04 cd		3.16 ± 0.15	c
T5	0.93 vi	4.71 ± 0.20 a		3.74 ± 0.04 b		4.73 ± 0.17 ab		4.77 ± 0.09 b		5.50 ± 0.03	a
T6	0.93 vi	3.31 ± 0.20 b		4.49 ± 0.05 b		5.08 ± 0.30 a		5.79 ± 0.05 a		5.19 ± 0.10	a
Mínimo	0.50	0.50		0.50		0.50		0.50		0.50	
Máximo	10.00	10.00		10.00		10.00		10.00		10.00	

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tukey, P≤0.05); e. e. = Error estándar; vi = Valor inicial; ddt = días después de trasplante; Niveles máximos y mínimos tomados de Barker y Pilbeam (2015).

Tabla 23. Azufre (S) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L⁻¹).

Tratamiento	14 ddt	42 ddt	e.e.	70 ddt	e.e.	98 ddt	e.e.	126 ddt	e.e.	154 ddt	e.e.
T1	5.80 vi	13.89 ± 0.41 e		22.06 ± 0.93 b		30.72 ± 0.80 b		17.31 ± 0.52 c		7.94 ± 0.54 c	
T2	5.80 vi	22.49 ± 0.79 cd		27.86 ± 1.71 b		53.01 ± 4.93 a		45.55 ± 5.71 a		13.60 ± 0.75 b	
T3	5.80 vi	24.35 ± 0.89 bc		14.74 ± 0.90 c		24.11 ± 1.71 b		26.06 ± 2.49 bc		28.67 ± 0.52 a	
T4	5.80 vi	30.95 ± 1.42 a		45.60 ± 2.00 a		28.77 ± 2.08 b		34.57 ± 1.36 ab		29.76 ± 0.22 a	
T5	5.80 vi	18.31 ± 1.26 de		41.60 ± 1.48 a		5.85 ± 0.13 c		4.38 ± 0.89 d		7.80 ± 0.65 c	
T6	5.80 vi	28.01 ± 1.81 ab		5.99 ± 0.91 d		5.42 ± 1.55 c		3.38 ± 0.22 d		4.09 ± 1.21 d	
Mínimo	16.00	16.00		16.00		16.00		16.00		16.00	
Máximo	240.00	240.00		240.00		240.00		240.00		240.00	

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tukey, P≤0.05); e. e. = Error estándar; vi = Valor inicial; ddt = días después de trasplante; Niveles máximos y mínimos tomados de Barker y Pilbeam (2015).

Tabla 24. Cloruros (Cl) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L⁻¹).

Tratamiento	14 ddt	42 ddt	e.e.	70 ddt	e.e.	98 ddt	e.e.	126 ddt	e.e.	154 ddt	e.e.
T1	405.71 vi	395.86 ± 15.63 abc		431.31 ± 21.30 a		407.68 ± 27.07 a		443.13 ± 10.23 a		425.40 ± 10.23 a	
T2	405.71 vi	419.49 ± 5.91 a		419.49 ± 25.75 a		413.58 ± 21.30 a		354.50 ± 17.72 a		401.77 ± 21.30 a	
T3	405.71 vi	348.59 ± 11.82 c		431.31 ± 15.63 a		425.40 ± 20.47 a		378.13 ± 23.63 a		419.49 ± 21.30 a	
T4	405.71 vi	354.50 ± 10.23 bc		407.68 ± 17.73 a		407.68 ± 20.47 a		354.50 ± 10.23 a		378.13 ± 21.30 a	
T5	405.71 vi	419.49 ± 11.82 a		395.86 ± 21.30 a		395.86 ± 21.30 a		366.32 ± 21.30 a		354.50 ± 10.23 a	
T6	405.71 vi	413.58 ± 15.63 ab		389.95 ± 20.47 a		431.31 ± 11.82 a		395.86 ± 25.76 a		395.86 ± 15.63 a	
Mínimo	35.50	35.50		35.50		35.50		35.50		35.50	
Máximo	532.50	532.50		532.50		532.50		532.50		532.50	

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tukey, P≤0.05); e. e. = Error estándar; vi = Valor inicial; ddt = días después de trasplante; Niveles máximos y mínimos tomados de Barker y Pilbeam (2015).

3.7.5. Potasio en la solución del suelo

El contenido de potasio a lo largo del ciclo productivo está representado en la Tabla 25, este inició con un valor de 91.83 mg L⁻¹ mostrando una tendencia a la alza a lo largo del ciclo productivo en los tratamientos que lo contenían (T1, T2, T3 y T4), efecto que no se mostró en T5 y T6, en los cuales no se utilizó este elemento bajo ninguna fuente de fertilización, por lo que, en esos últimos tratamientos, es posible que solo se observaran los niveles de absorción de potasio por parte de la planta, mientras que en T1, T2, T3 y T4, además de la absorción de este elemento, el incremento mostrado a lo largo del ciclo productivo pudo deberse a una posible mineralización por parte la flora microbiana existente y de la que fue suministrada a través de los bioles y MML empleados en estos tratamientos, como lo describe Restrepo *et al.* (2017). La tendencia de aumento en los valores de potasio en la solución del suelo a lo largo de un ciclo productivo fue observada por García *et al.* (2023) al monitorear la fluctuación del potasio durante 126 días de producción de jitomate en invernadero, iniciando el ciclo con 73.36 mg L⁻¹ y finalizando con 340.36 mg L⁻¹ de este elemento.

3.7.6. Calcio en la solución del suelo

La presencia de calcio en la solución del suelo (Tabla 26) presentó un incremento en su concentración en los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5; lo cual pudo deberse a que estos tratamientos contenían este mineral en la solución nutritiva utilizada, no siendo así en T6, que se fertilizó únicamente con agua de riego observándose una disminución en la concentración de calcio en la solución del suelo, lo cual pudo indicar que este nutriente aplicado previamente en la enmienda al suelo fue absorbido por la planta, además de una posible lixiviación. En los demás tratamientos se observó que la aplicación de calcio por medio de la fertilización tiende a elevar su concentración en la solución del suelo a largo del ciclo de producción, mostrando también fluctuaciones que sugieren un posible consumo de este elemento a lo largo del ciclo productivo o pérdida del mismo por infiltración del agua y con ella la lixiviación del nutriente (Sadeghian *et al.*, 2015), como se observa en la disminución de calcio entre los 70 ddt y los 98 ddt, siendo este periodo donde el consumo de este elemento es mayor ya que la planta realiza procesos de amarre, crecimiento y cosecha

de frutos, lo cual concuerda con los niveles de concentración de nutrientes en la solución del suelo propuesto por Hernández *et al.* (2014).

3.7.7. Magnesio en la solución del suelo

El consumo de magnesio durante el periodo de desarrollo, crecimiento y producción del jitomate (Tabla 27) mostró una tendencias similar a la de los elementos anteriores, inició con 145.48 mg L⁻¹, notándose en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 fluctuaciones de ascenso a lo largo del ciclo productivo; este efecto posiblemente se debió a que en estos tratamientos la solución nutritiva suministrada (Biol y MML) contenían este nutriente en su formulación; es posible también que los microorganismos presentes en el suelo y en los biofertilizantes favorecieron la disponibilidad de este elemento (Bhardwaj *et al.*, 2014). En contraste, los tratamientos T5 y T6 mantuvieron valores más bajos, posiblemente debido a que las soluciones nutritivas de estos tratamientos no contenían magnesio. También se observó que el magnesio puede ser un elemento susceptible a la lixiviación en suelos arenosos (Urbano 2011), como se refleja a los 154 ddt en T5 y T6 donde presentó una mayor pérdida en la concentración de este elemento en comparación a los otros tratamientos. Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por Stoleru *et al.* (2020) quienes observaron un aumento de la concentración de magnesio tras aplicar una fertilización química.

3.7.8. Sodio en la solución del suelo

La Tabla 28 muestra la evolución de sodio durante el ciclo productivo, que inició con una concentración de 102.17 mg L⁻¹ y conforme transcurrieron las primeras semanas del crecimiento y desarrollo del cultivo (42 ddt) esta fue incrementándose en todos los tratamientos, sin embargo, a partir de los 70 ddt se aprecia una tendencia de consumo o posible lixiviación en cada tratamiento; notándose como el sodio disminuye entre los 42 ddt y 98 ddt; mientras que en el periodo de 98 ddt a 126 ddt, se aprecia un incremento, culminando con una disminución hacia los 154 ddt, posiblemente debido a un proceso de lavado o lixiviación del elemento por el riego con solo agua en la etapa final del cultivo. Otro efecto observado fue, que los tratamientos que tuvieron una nutrición a base de fuentes orgánicas (Biol y MML) presentaron niveles de sodio superiores a los tratamientos

fertilizados con fuentes químicas y con agua (T5 y T6), resultado similar al reportado por Canales *et al.* (2021) quienes encontraron niveles de sodio mayores en suelos tratados con vermicomposta (73.84 mg L^{-1}) frente a los tratados con fertilización química (69.75 mg L^{-1}). Esto sugiere que los microorganismos presentes en las fuentes orgánicas podrían haber solubilizado estos nutrientes, como lo mencionan Bhardwaj *et al.* (2014) y Otlewska *et al.* (2020); sin embargo, Moreno (2018) reportó efecto contrario, con una disminución en los niveles de sodio tras aplicar materiales orgánicos al suelo.

Es importante destacar que los niveles de sodio encontrados en la solución del suelo, corresponden a niveles altos, esto se observa en el análisis de fertilidad de suelo, el cual reporta 240 mg L^{-1} , siendo un valor alto, lo que podría favorecer la formación de un suelo relativamente salino en combinación con los niveles altos de cloruros presentes en la solución del suelo, lo que podría afectar el rendimiento de algunos cultivos, sin embargo, dado que el jitomate es moderadamente sensible a la salinidad, como lo menciona Rudolph *et al.* (2022), los niveles de sodio presentes en la solución del suelo son tolerables para este cultivo.

Tabla 25. Potasio (K) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L⁻¹).

Tratamiento	14 ddt	42 ddt	e.e.	70 ddt	e.e.	98 ddt	e.e.	126 ddt	e.e.	154 ddt	e.e.
T1	91.83 vi	118.00 ±	- c	157.50 ± 0.29 d	167.50 ± 0.87 c	177.00 ± 1.15 b	139.50 ± 0.87 c				
T2	91.83 vi	118.50 ± 0.29 c	216.00 ± 1.73 b	242.50 ± 0.87 a	153.00 ± - c	209.00 ± - b					
T3	91.83 vi	137.50 ± 0.29 b	172.00 ± 0.58 c	167.00 ± - c	152.00 ± 0.58 c	144.00 ± 0.58 c					
T4	91.83 vi	140.50 ± 1.44 b	228.50 ± 0.87 a	178.50 ± 0.29 b	215.50 ± 0.87 a	333.50 ± 4.33 a					
T5	91.83 vi	158.50 ± 1.44 a	157.50 ± 0.87 d	120.50 ± 0.87 d	78.00 ± 0.58 e	95.50 ± 3.75 d					
T6	91.83 vi	111.00 ± 1.73 d	93.00 ± 0.58 e	89.50 ± 0.29 e	83.50 ± 0.29 d	63.50 ± 2.60 e					
Mínimo	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50					
Máximo	195.00	195.00	195.00	195.00	195.00	195.00					

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tukey, P≤0.05); e. e. = Error estándar; vi = Valor inicial; ddt = días después de trasplante; Niveles máximos y mínimos tomados de Barker y Pilbeam (2015).

Tabla 26. Calcio (Ca) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L⁻¹).

Tratamiento	14 ddt	42 ddt	e.e.	70 ddt	e.e.	98 ddt	e.e.	126 ddt	e.e.	154 ddt	e.e.
T1	68.33 vi	105.00 ± 2.89 c	140.00 ± - d	155.00 ± 2.89 bc	105.00 ± 2.89 c	55.00 ± 2.89 d					
T2	68.33 vi	130.00 ± b	160.00 ± - c	243.33 ± 8.82 a	226.67 ± 8.82 a	130.00 ± 5.77 b					
T3	68.33 vi	135.00 ± b	135.00 ± 2.89 d	130.00 ± - c	155.00 ± 2.89 b	180.00 ± 5.77 a					
T4	68.33 vi	160.00 ± a	205.00 ± 2.89 a	165.00 ± 2.89 b	200.00 ± 5.77 a	190.00 ± - a					
T5	68.33 vi	115.00 ± c	170.00 ± - b	90.00 ± 5.77 d	160.00 ± 5.77 b	105.00 ± 2.89 c					
T6	68.33 vi	135.00 ± b	70.00 ± - e	66.67 ± 12.02 d	73.33 ± 6.67 d	50.00 ± - d					
Mínimo	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00					
Máximo	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00					

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tukey, P≤0.05); e. e. = Error estándar; vi = Valor inicial; ddt = días después de trasplante; Niveles máximos y mínimos tomados de Barker y Pilbeam (2015).

Tabla 27. Magnesio (Mg) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L⁻¹).

Tratamiento	14 ddt	42 ddt	e.e.	70 ddt	e.e.	98 ddt	e.e.	126 ddt	e.e.	154 ddt	e.e.
T1	145.48 vi	122.19 ± 18.39 a		137.13 ± 18.61 a		193.07 ± 8.27 a		146.30 ± 8.02 cd		130.04 ± 10.18 b	
T2	145.48 vi	145.94 ± 19.94 a		147.17 ± 17.85 a		196.20 ± 4.99 a		196.18 ± 7.01 a		159.33 ± 3.06 ab	
T3	145.48 vi	142.18 ± 10.31 a		125.74 ± 18.65 a		175.81 ± 0.96 a		153.36 ± 8.05 c		171.41 ± 9.86 a	
T4	145.48 vi	156.93 ± 3.59 a		166.07 ± 11.50 a		165.73 ± 6.95 ab		174.99 ± 4.20 b		181.66 ± 12.21 a	
T5	145.48 vi	142.59 ± 7.01 a		163.28 ± 16.54 a		127.12 ± 16.63 b		160.32 ± 5.29 bc		80.71 ± 4.79 c	
T6	145.48 vi	143.49 ± 8.39 a		152.85 ± 2.97 a		128.21 ± 14.50 b		131.70 ± 7.68 d		63.71 ± 4.64 c	
Mínimo	12.00	12.00		12.00		12.00		12.00		12.00	
Máximo	120.00	120.00		120.00		120.00		120.00		120.00	

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tukey, P≤0.05); e. e. = Error estándar; vi = Valor inicial; ddt = días después de trasplante; Niveles máximos y mínimos tomados de Barker y Pilbeam (2015).

Tabla 28. Sodio (Na) en la solución del suelo a lo largo del experimento (mg L⁻¹).

Tratamiento	14 ddt	42 ddt	e.e.	70 ddt	e.e.	98 ddt	e.e.	126 ddt	e.e.	154 ddt	e.e.
T1	102.17 vi	149.50 ± 3.75 d		170.50 ± 2.60 b		137.50 ± 3.75 b		120.67 ± 6.06 c		87.00 ± 6.43 c	
T2	102.17 vi	156.00 ± 5.77 cd		159.00 ± 2.89 b		198.33 ± 7.13 a		194.67 ± 8.35 a		101.33 ± 6.84 c	
T3	102.17 vi	168.00 ± 2.31 b		169.00 ± 3.46 b		128.33 ± 11.39 bc		181.67 ± 8.74 ab		186.00 ± 3.06 a	
T4	102.17 vi	197.00 ± 2.31 a		203.67 ± 6.17 a		144.50 ± 1.44 b		192.33 ± 12.91 a		150.00 ± 2.31 b	
T5	102.17 vi	151.00 ± 3.46 d		171.50 ± 3.18 b		126.50 ± 0.87 bc		154.33 ± 8.35 bc		164.33 ± 3.18 b	
T6	102.17 vi	158.50 ± 1.44 c		120.33 ± 7.54 c		102.00 ± 3.79 c		171.50 ± 0.29 ab		89.67 ± 8.84 c	
Mínimo	46.00	46.00		46.00		46.00		46.00		46.00	
Máximo	345.00	345.00		345.00		345.00		345.00		345.00	

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tukey, P≤0.05); e. e. = Error estándar; vi = Valor inicial; ddt = días después de trasplante; Niveles máximos y mínimos tomados de Barker y Pilbeam (2015).

Como se observó en las Tablas 19 a 28, los minerales presentes en la solución del suelo pueden agruparse de tres maneras: a) elementos por debajo de rangos mínimos; b) elementos dentro de rangos mínimos y máximos; y c) elementos por encima de niveles máximos. Esta clasificación se realizó utilizando los niveles de referencia brindados por Castellanos (2009) y Barker y Pilbeam (2015), quienes mencionan que los valores obtenidos de la solución del suelo permiten evaluar la cantidad de los elementos nutritivos presentes y disponibles en dicha solución, con la finalidad de que las raíces de la planta puedan asimilarlos, iniciando así el desarrollo nutrimental del cultivo.

Entre los elementos nutrimentales detectados por debajo de los rangos mínimos en la solución del suelo se encontraron a los nitratos, nitrógeno total y azufre (en algunos registros correspondientes a T5 y T6), estos resultados concuerdan con niveles nutrimentales obtenidos en el análisis de fertilidad de suelo realizado al inicio del experimento. Por otro lado, el único elemento que excedió consistentemente los niveles máximos en la solución del suelo fue el magnesio, que se mantuvo regularmente elevado. Finalmente, los nutrientes que se ubicaron dentro del rango en la solución del suelo fueron amonio, azufre, fósforo, cloruros, potasio, calcio y sodio; sin embargo, el azufre presentó valores por debajo del nivel de referencia en algunos tratamientos, mientras que amonio, cloruros y potasio registraron valores cercanos al máximo o incluso superiores a este en determinados momentos.

Los resultados obtenidos en cuanto a la presencia de los elementos nutrimentales en la solución del suelo y su evaluación en comparación a los niveles de referencia coinciden con la concentración de nutrientes en la solución nutritiva estudiada por Hernández *et al.* (2014), donde los niveles de referencia propuestos fueron: nitrógeno de 90 a 189 mg L⁻¹, P de 49.75 a 66.33 mg L⁻¹, K de 89.65 a 394.55 mg L⁻¹, Ca 95.81 a 203.86 mg L⁻¹ y Mg 19.30 a 41.01 mg L⁻¹.

También, se encontró que la aplicación de una solución nutritiva compuesta por materiales orgánicos (Biol y MML) en los tratamientos T1, T2, T3 Y T4 mantuvo niveles más elevados de nutrientes como azufre, cloruros, potasio, calcio, magnesio y sodio, además de presentarse una menor pérdida de nutrientes por una posible lixiviación al final del ciclo productivo en comparación con el tratamiento de nutrición química; esto pudo deberse a la acción de materia orgánicas y microorganismos adicionados al suelo (composta, bioles y MML) como

mejoradores de suelo y medio de nutrición (Albiach *et al.*, 2000; Restrepo *et al.*, 2017; Sharma, 2024); resultado similar obtuvo Choi (2020) con el suministro de fertilización orgánica a base de biofertilizantes líquidos en jitomates cherry.

3.8. Resultados químicos del contenido nutrimental en hoja

Los resultados del análisis químico del contenido nutrimental en la hoja del cultivo de jitomate se muestran en las Figuras 8 y 9; en la primera de ellas se observan los niveles nutrimentales de aniones (nitrógeno, fósforo y cloro), mientras que en la segunda se presentan los valores de cationes (calcio, potasio, magnesio y sodio) de los seis tratamientos evaluados. Cabe destacar que en ambas figuras se indican los niveles nutrimentales máximos y mínimos considerados por Castellanos (2009) para el cultivo de jitomate (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio), mientras que, para el cloro y el sodio se consideraron los valores propuestos por Kalra (1998).

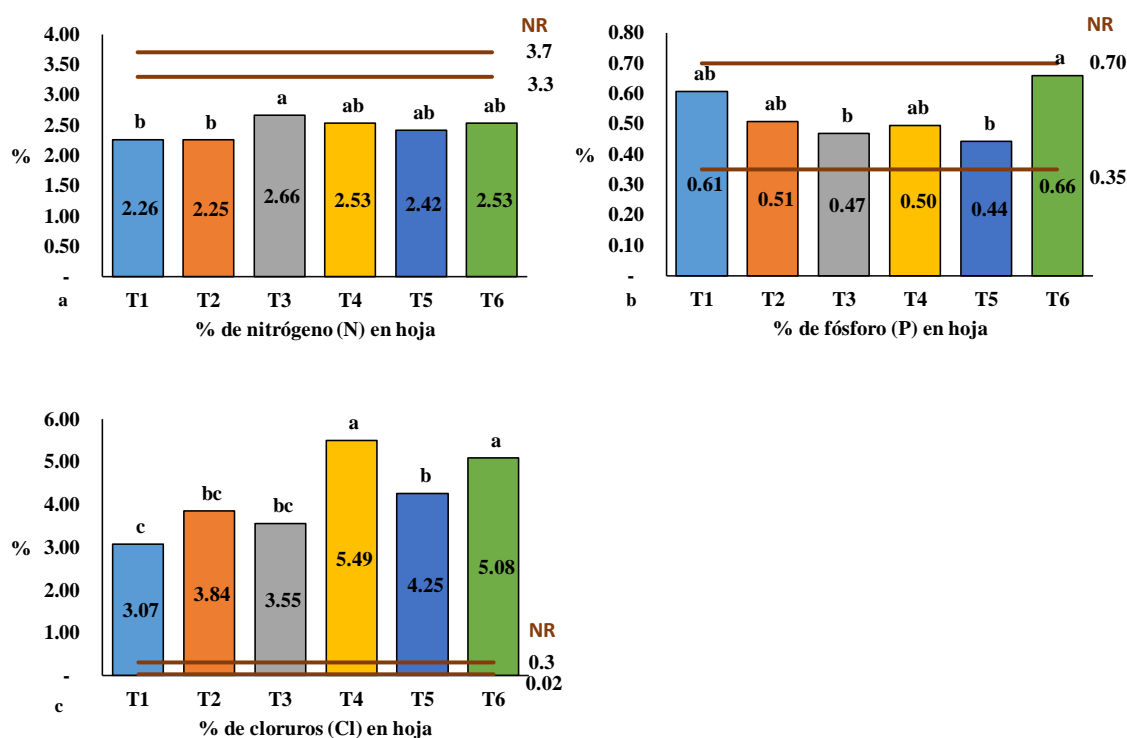
3.8.1. Contenido de nitrógeno, fósforo y cloro en hoja

En la Figura 8a se observa que el mayor porcentaje de nitrógeno se registró en T3, con 2.66%, siendo este el tratamiento que contenía Biol+50% FQ, seguido de T4 con 2.54% que contenía MML+50% FQ; cabe destacar que T5, el cual consistía en fertilización química con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ mostró 2.42% del contenido de nitrógeno en la hoja, un valor inferior a los tratamientos mencionados, además de que todos los tratamientos estuvieron por debajo del nivel de referencia mínimo (3.3%).

En cuanto al fósforo presente en hoja (Figura 8b), el mayor porcentaje se reflejó en T6, con un valor de 0.66%, aunque en este tratamiento no se le aplicó ese elemento como fuente de nutrición, pero sí estaba presente en el suelo y en las enmiendas minerales aplicadas (composta y roca fosfórica). Cabe destacar que los otros tratamientos con mayores niveles de este elemento fueron T1 con 0.61% y T2 con 0.51%, en los cuales se utilizó Biol y MML como fuente de nutrición, donde había presencia de este elemento en la solución nutritiva empleada. Además, este elemento se mantuvo dentro de los niveles de referencia utilizados.

Finalmente, en la Figura 8c se observa el porcentaje que se registró en cloro en forma de cloruros dentro de las hojas del cultivo de jitomate, en donde el mayor valor correspondió a T4 con 5.49% en comparación al menor valor presente en T1 con 3.07%. También en este elemento, los valores registrados de los seis tratamientos superaron el nivel de referencia más alto (0.3%).

Se cuantificó el porcentaje de azufre en las hojas de jitomate; sin embargo, los valores obtenidos presentaron una alta variabilidad, lo que los hizo poco confiables. Por esta razón, esta variable no fue incluida en la evaluación ni en la discusión de los resultados.



Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$); NR: Niveles de referencia de nutrientes en fruto en cultivo de jitomate por Kalra (1998) y Castellanos (2009).

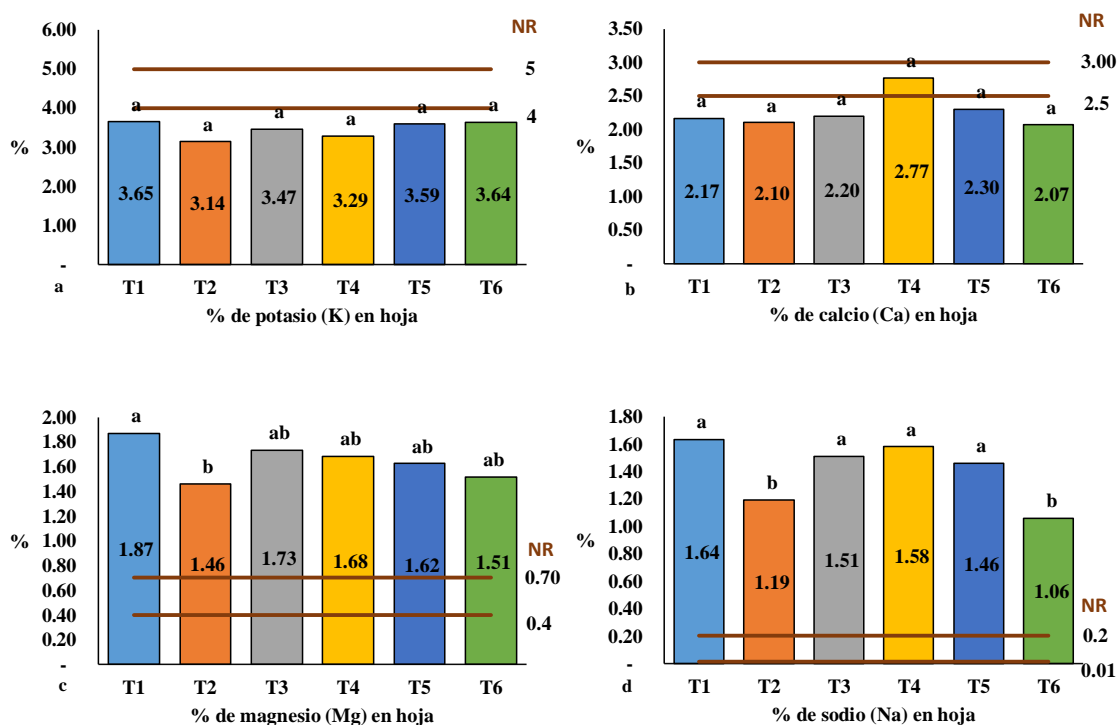
Figura 8. Porcentaje de N, P y Cl en hoja de jitomate en los diferentes tratamientos.

3.8.2. Contenido de potasio, calcio, magnesio y sodio en hoja

El análisis del porcentaje de potasio presente en las hojas de jitomate (Figura 9a) mostró que T1 y T6 tuvieron los valores más altos de este elemento, alcanzando niveles de 3.65% y

3.64% respectivamente, seguidos de T5 con 3.59%. Esto sugiere que, en tratamientos donde no se aplicó potasio, la planta pudo asimilarlo de las fuentes presentes en el suelo y a las enmiendas minerales realizadas. También se observó que los niveles de potasio se mantuvieron por debajo de los niveles de referencia, aun en los tratamientos que contenían este elemento en la solución nutritiva (T1, T2, T3 Y T4).

En cuanto al porcentaje de calcio en las hojas de jitomate (Figura 9b), se puede notar que T4 fue el tratamiento con el nivel más alto de este elemento, alcanzando un 2.77%, seguido de T5 con 2.30%, mientras que el nivel más bajo correspondió a T6 con 2.07%. Este resultado sugiere que los fertilizantes orgánicos pueden mejorar la asimilación de nutrientes. Otro resultado fue que T4 estuvo dentro de los niveles de referencia, mientras que los demás tratamientos se localizaron por debajo de estos.



Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$); NR: Niveles de referencia de nutrientes en fruto en cultivo de jitomate por Kalra (1998) y Castellanos (2009).

Figura 9. Porcentaje de K, Ca, Mg y Na en hoja de jitomate en los diferentes tratamientos.

En la Figura 9c se observa el porcentaje de magnesio que se presentó en las hojas de jitomate, indicando que T1 fue el tratamiento que presentó el mayor contenido de este elemento (1.87%), seguido de T3 con 1.73%, mientras que el valor más bajo se observó en T6 con 1.51%. Es importante señalar que el elemento magnesio fue uno de los cationes que superó los niveles de referencia establecidos para el tejido foliar (0.07%).

Finalmente, el contenido de sodio encontrado en el análisis de tejido de las hojas (Figura 9d) mostró una mayor presencia de este elemento en T1 con 1.64%, mientras que el tratamiento con menor presencia fue T6 con 1.06%. Observándose también, que los cloruros se mantuvieron por arriba del nivel máximo de referencia (0.20%) en todos los tratamientos.

El análisis nutrimental al tejido vegetal de las hojas mostró que el único elemento que se mantuvo dentro de los niveles de referencia (Kalra, 1998; Castellanos, 2009) fue el fósforo, en contraste, nitrógeno, potasio y calcio se encontraron por debajo de dichos niveles, mientras que cloruros, magnesio y sodio se presentaron por encima de los niveles de referencia. Por otro lado, los tratamientos con fuentes orgánicas y 50% de nutrición química (T3 y T4) no mostraron diferencias significativas en comparación a la nutrición química; estos resultados fueron similares a los obtenidos por Llorens *et al.* (2012) quienes analizaron la composición nutrimental de las hojas de jitomate con una la fertilización a base de composta, encontrando diferencias significativas en los elementos analizados (Cl, P, Na, K, Ca y Mg) en los tratamientos que contenían una mezcla de composta y fertilización química. Este efecto pudo deberse a que los microorganismos presentes en las fuentes orgánicas colaboraron en la disponibilidad de nutrientes, influyendo así en la translocación de los elementos a las hojas de la planta como lo mencionó Gent (2002), coincidiendo también con un estudio de Capulín *et al.* (2011) donde encontraron que la absorción nutrimental orgánica mejora cuando se utiliza una nutrición a base de fermentos líquidos bovinos, en comparación a una nutrición con fuentes químicas.

Las tendencias encontradas en los análisis de tejido vegetal en hojas con relación a los cationes potasio, calcio, magnesio y sodio mostraron que los tratamientos en los que se utilizaron bioles y MML como fuente de fertilización (T1, T2, T3 y T4) tuvieron niveles más altos de nutrientes en las hojas en comparación a los tratamientos que no lo contenían (T5 y T6). Otro efecto observado fue que el potasio se asimiló por las hojas sin haber sido aplicado

como fertilizante en T5 y T6, manteniéndose dentro de rangos de suficiencia, lo que sugiere que un suelo equilibrado facilita una correcta absorción nutrimental, como lo mencionan Astera (2010) y Larios (2021).

3.9. Resultados químicos del contenido nutrimental en fruto

Los resultados del contenido nutrimental (nitrógeno, fósforo, cloro, calcio, potasio, magnesio y sodio) en los frutos de jitomate de los seis tratamientos evaluados se muestran en la Figura 10 y 11, los cuales están clasificados por aniones y cationes respectivamente. Los niveles de referencia del contenido de nutrientes en los frutos se basaron en los propuestos por Narváez (2013) para nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, magnesio y sodio, mientras que los niveles de referencia considerados para cloro se utilizaron los propuestos por Kalra (1998).

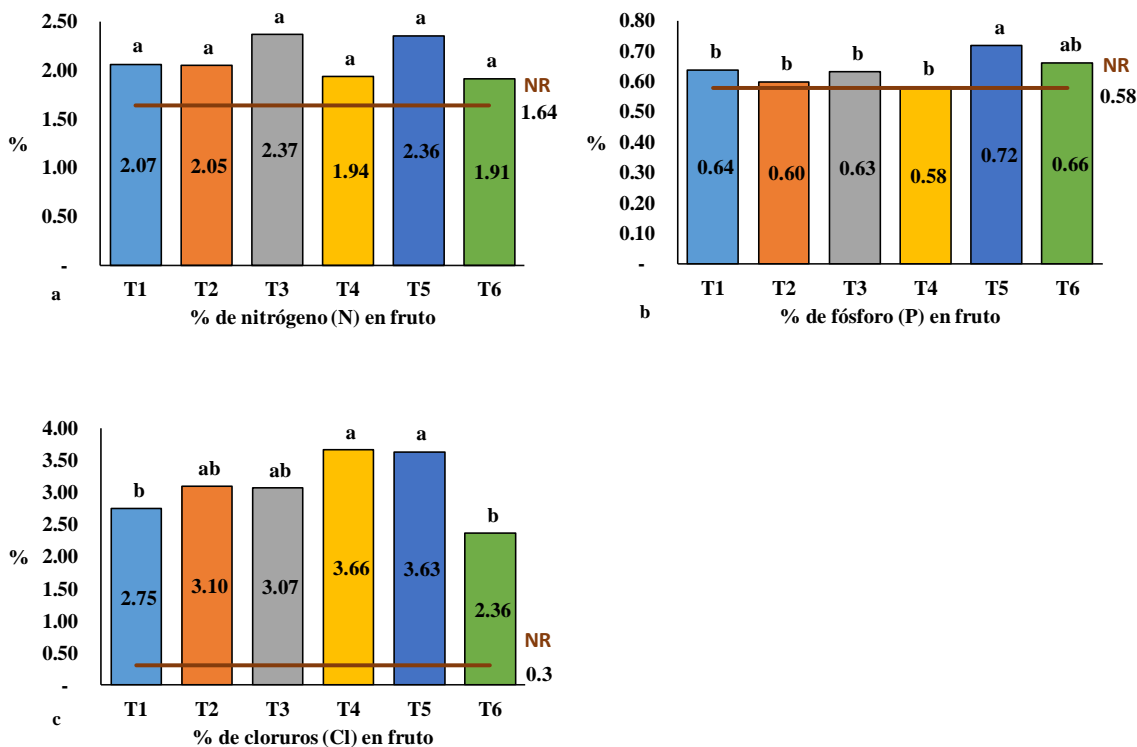
3.9.1. Contenido de nitrógeno, fósforo y cloro en fruto

La Figura 10a muestra el porcentaje de nitrógeno presente en el fruto, donde se aprecia que todos los tratamientos superaron el nivel de referencia (1.64%), el valor más alto se encontró en T3 con 2.37%, seguido de T5 con 2.36%, ambos con valores muy cercanos, mientras que el nivel más bajo se encontró en T6 con 1.91%. Cabe destacar que en el análisis ANOVA realizado en este elemento no presentó diferencias significativas a pesar de que los tratamientos T1, T2 y T6 no recibieron nutrición con fuentes nitrogenadas, más que la proporcionada por la enmienda mineral aplicada al suelo, lo que sugiere que una mayor presencia de nitrógeno en el fruto podría deberse al suministro de este elemento mediante la fertilización química, ya que en T3, T4 y T5 se utilizó $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ como fuente de nitrógeno.

En cuanto a los porcentajes de fósforo en el fruto (Figura 10b), se observó que cinco tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, y T6) superaron el nivel de referencia (0.58%), mientras que T4 alcanzó dicho límite. Cabe destacar que T5 y T6 no contaron con fertilización con este elemento en la solución nutritiva empleada; sin embargo, T5 mostró una mayor concentración de fósforo (0.72%) siendo un 14% más que T4 que reflejó un 0.58%. En el análisis ANOVA y la comparación de medias para este elemento indicaron la presencia de

diferencias estadísticas, donde T5 y T6 no fueron significativamente diferentes entre sí, pero T5 sí mostró diferencias estadísticas respecto a T1, T2, T3 y T4.

La Figura 10c muestra el porcentaje obtenido de cloro en forma de cloruros en el fruto, resultando al igual que los aniones anteriores, que este elemento superó el valor de referencia de 0.3%, observándose que T4 y T5 fueron los tratamientos que mostraron los niveles más altos de cloruros con un 3.66% y 3.63% respectivamente, además de ser los tratamientos que mostraron diferencia estadística en comparación con T1 y T6, que alcanzaron un 2.75% y 2.36%, respectivamente. Cabe destacar que, aunque no hubo ninguna fuente de suministro de cloruros, estos estaban presentes en niveles altos en el suelo, como se observó en los análisis de solución del suelo, donde se reportaron valores elevados de este elemento nutrimental.



Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$); NR: Niveles de referencia de nutrientes en hoja en cultivo de jitomate de Kalra (1998) y Narváez (2013).

Figura 10. Porcentaje de N, P y Cl en fruto de jitomate en los diferentes tratamientos.

También se realizó la cuantificación del porcentaje de azufre en frutos de jitomate; no obstante, los resultados mostraron una alta variabilidad, lo que impidió considerarlos como confiables. Por este motivo, esta variable fue descartada de la evaluación, análisis y discusión de los resultados.

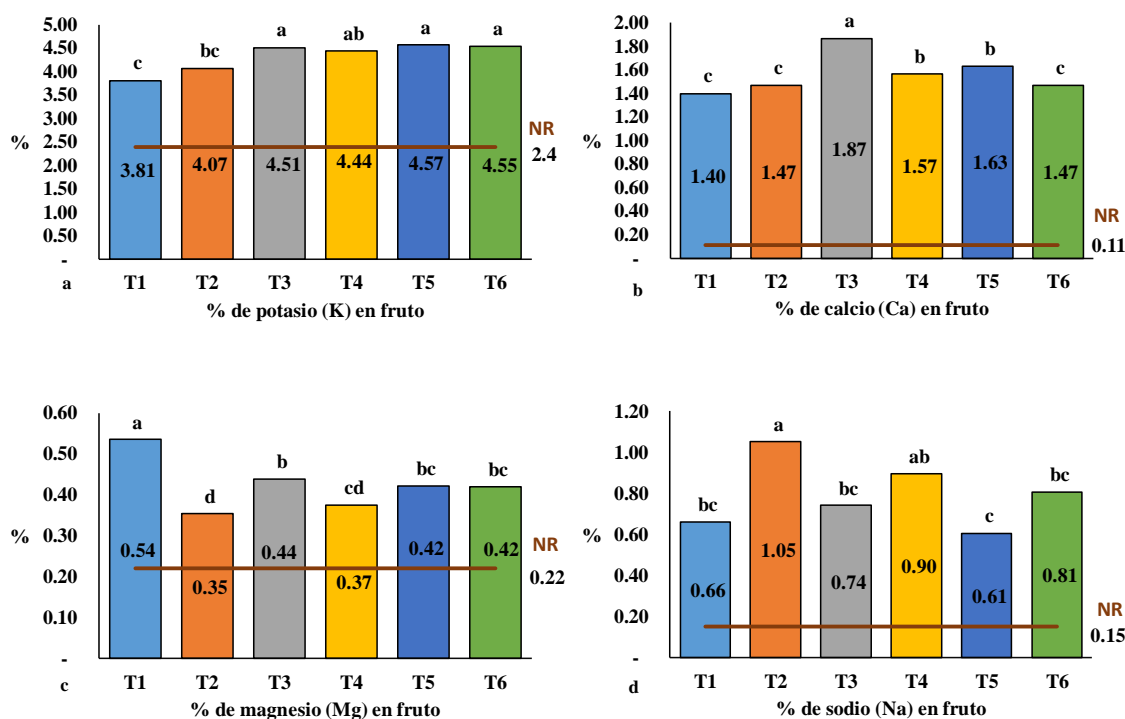
3.9.2. Contenido de potasio, calcio, magnesio y sodio en fruto

Los resultados del porcentaje de cationes presentes en el fruto de jitomate (Figura 11) muestran el contenido nutrimental que éstos tuvieron en cada tratamiento evaluado. En el contenido de potasio en fruto (Figura 11a), se observó que todos los tratamientos superaron el nivel de referencia de 2.4%. Los valores más altos de este elemento se encontraron en los tratamientos T5 con 4.57%, seguido de T6 con 4.55%, T3 con 4.51% y T4 con 4.44%, siendo estos los que presentaron diferencias significativas en comparación con T1 y T2, según el análisis ANOVA y comparación de medias realizado, reflejando valores de 3.81% y 4.07%, respectivamente, a pesar que estos últimos contenían una fuente de potasio dentro de su formulación nutritiva.

En cuanto a la presencia de calcio en fruto (Figura 11b), se observó que los seis tratamientos superaron los niveles de referencia de este elemento. T3 presentó el porcentaje más alto de calcio con 1.87%, seguido de T5 con 1.63%, mientras que T1 tuvo el nivel más bajo con 1.47%, Además, el análisis ANOVA y la comparación de medias indicaron que T3 mostró diferencia estadística en comparación a los demás tratamientos (T1, T2, T4, T5 y T6), lo cual sugiere que la mezcla de biofertilizantes (Biol+50% FQ) permitió una mayor asimilación de calcio en comparación con los tratamientos que emplearon Biol, MML y fertilización química.

Por su parte, los valores de magnesio en fruto (Figura 11c) también fueron superiores al nivel de referencia (0.22%) en todos los tratamientos, siendo T1 el que presentó una mayor concentración de este elemento (0.54%), seguido de T3 con 0.44%, mientras que T2 registró el nivel más bajo con 0.35%. Cabe mencionar que, con base en el análisis ANOVA y comparación de medias, T1 mostró una diferencia significativa respecto a T2, T3, T4, T5 y T6.

Por último, los resultados del porcentaje de sodio presente en fruto (Figura 11d), del análisis ANOVA y del análisis de comparación de medias mostraron que T2 y T4 no presentaron diferencias estadísticas entre sí, mientras que T2 si mostró una diferencia significativa en comparación con T1, T3, T5 y T6, alcanzando un 1.05% de sodio en el fruto, seguido de T4 con 0.90% y el menor porcentaje se registró en T5 con 0.61%. Este resultado propone que este catión pudo haber sido mejor asimilado en los tratamientos con MML y MML+50% FQ que en aquellos que usaron bioles o fertilización química.



Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$); NR: Niveles de referencia de nutrientes en hoja en cultivo de jitomate de Kalra (1998) y Narváez (2013).

Figura 11. Porcentaje de K, Ca, Mg y Na en fruto de jitomate en los diferentes tratamientos.

El análisis del contenido nutrimental de los frutos de jitomate mostró que los seis tratamientos superaron los niveles de referencia propuestos por Kalra (1998) y Narváez (2013) observándose una tendencia en el tratamiento que se fertilizó con una combinación de bioles y fertilización química (T3) a mejorar la disponibilidad de nutrientes en el fruto, especialmente en los elementos nitrógeno, potasio y calcio. Estudios como el de González, Gallegos, *et al.* (2021) indican que el uso de una mezcla de fertilización orgánica a base de

estiércol bobino, bacterias y fertilización química en la producción de melón mejora la absorción nutrimental del nitrógeno, potasio y calcio, debido a una mayor actividad microbiana con capacidad de solubilizar minerales y poniéndolos a disposición de la planta (Vessey, 2003; Waguespack *et al.*, 2022), lo cual puede favorecer la calidad de los frutos. Esto sugiere que la aplicación de composta como enmienda al suelo y la fertilización orgánica con Biol y MML promovieron la presencia de microorganismos solubilizadores de nutrientes, lo que facilitó su absorción y permitió que estos se dirigieran a los frutos de jitomate.

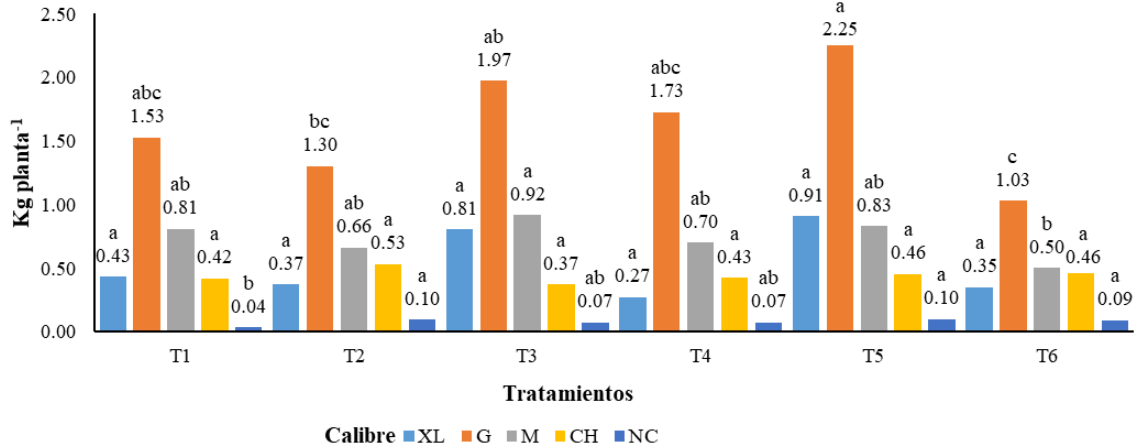
3.10. Datos de rendimiento de jitomate variedad Reserva cultivado en invernadero

3.10.1. Rendimiento de jitomate variedad Reserva por calibres

El rendimiento total obtenido de jitomate variedad Reserva se clasificó por calibres, de acuerdo con el diámetro ecuatorial establecido en la norma NMX-FF-031-1997, ya que la venta de este producto se realiza con base a los tamaños comerciales que dicha norma específica.

Una vez separada la producción por calibres, se pesó por tratamiento y repetición, obteniendo los valores mostrados en la Tabla 29 y en la Figura 12 que grafican las tendencias de rendimiento.

En la Tabla 29 se pueden observar los valores de rendimiento de jitomate por calibres de fruto donde, el tamaño G que corresponde a un diámetro ecuatorial de 59 mm a 70 mm presentó el mayor rendimiento, con un promedio global del 47%, seguido del calibre M con un 22% y un diámetro ecuatorial de 51 mm a 60 mm. Por su parte, el calibre XL con diámetro ecuatorial >70 mm ocupó el tercer lugar con un 15% del rendimiento total; en penúltimo lugar se ubicó el calibre CH con un promedio de rendimiento del 14% y un diámetro ecuatorial de 38 mm a 52 mm, en último lugar se ubicó el calibre no comercial (CN) con un promedio de rendimiento del 2% y un diámetro ecuatorial <38 mm.



Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$)

Figura 12. Distribución del rendimiento total de jitomate (kg planta^{-1}) por calibre de fruto y tratamiento en el presente experimento.

Tabla 29. Rendimiento total de jitomate producido bajo invernadero sembrado suelo y clasificado por calibres de fruto de acuerdo a NMX-FF-031-1997.

Tratamientos	XL		G		M		CH		NC		Total kg
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	
T1	0.44	13	1.53	47	0.81	25	0.42	13	0.03	1	3.23
T2	0.37	13	1.31	44	0.66	22	0.53	18	0.10	3	2.97
T3	0.81	19	1.98	48	0.92	22	0.38	9	0.08	2	4.15
T4	0.28	9	1.73	54	0.70	22	0.43	13	0.08	2	3.21
T5	0.91	20	2.26	50	0.83	18	0.46	10	0.10	2	4.55
T6	0.35	14	1.03	42	0.50	21	0.46	19	0.09	4	2.44
Promedio	0.52	15	1.64	47	0.74	22	0.45	14	0.08	2	3.42

Simbología de calibres de jitomate con respecto a diámetro ecuatorial: XL > 70 mm; G de 59 mm a 70 mm; M de 51 mm a 60 mm; CH de 38 mm a 52 mm; NC < 38 mm.

3.10.2. Rendimiento de jitomate variedad Reserva calibre extra grande (XL > 70 mm)

Para el calibre extra grande (XL > 70 mm), se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos en el rendimiento (Tabla 30), comenzando con una verificación de la homogeneidad de las varianzas mediante la prueba de Bartlett, la cual arrojó un valor de $P=0.019$, indicando que las varianzas no fueron homogéneas, por lo que para conocer la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos se utilizó un análisis no paramétrico con una prueba de Kruskal-Wallis considerando un $\alpha=0.05$ y un nivel de

confianza del 95%, se obtuvo un valor de $P=0.388$, de modo que, al ser $P>\alpha$, se concluyó que no existe diferencias significativas entre el rendimiento en calibre XL entre los seis tratamientos. Estos resultados fueron similares con los observados por Díaz (2021), quien encontró que no había diferencias significativas en el rendimiento de jitomate calibre XL con una producción agroecológica con vermicomposta como fuente de nutrición en comparación con una fertilización química.

Tabla 30. Rendimiento de jitomate (kg planta⁻¹) calibre extra grande (XL>70 mm) en el presente experimento.

Tratamiento	Promedio kg planta ⁻¹		e. e.	Análisis de medias Tukey
T1	0.44	±	0.022	a
T2	0.37	±	0.164	a
T3	0.81	±	0.331	a
T4	0.28	±	0.118	a
T5	0.91	±	0.286	a
T6	0.35	±	0.146	a

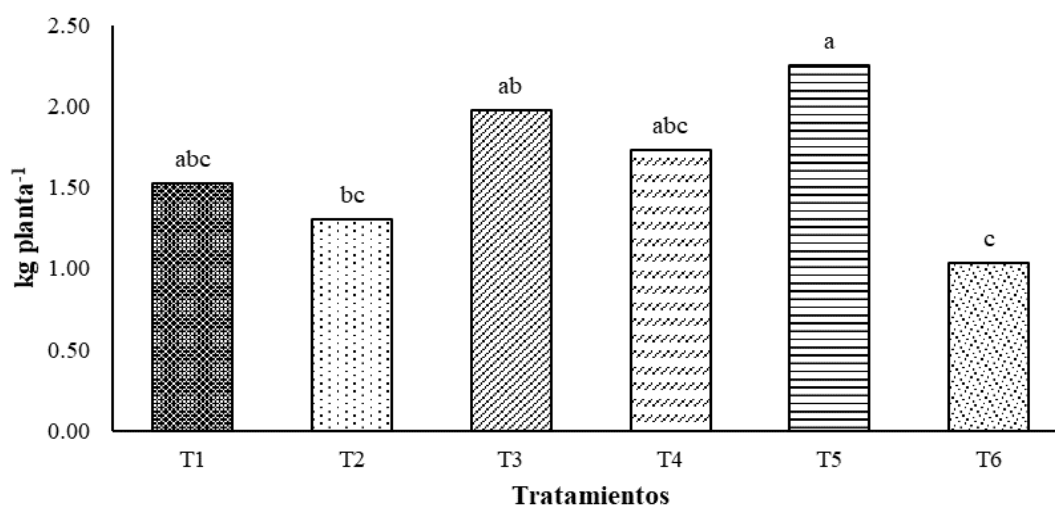
e. e. = Error estándar.

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias ($P\leq 0.05$).

3.10.3. Rendimiento de jitomate variedad Reserva calibre grande (G de 59 mm a 70 mm)

En cuanto al rendimiento en calibre grande (G de 59 mm a 70 mm), se verificó la homogeneidad de las varianzas utilizando la prueba de Bartlett, con un resultado de $P=0.161$ indicando que las varianzas fueron homogéneas. Se realizó un análisis de varianza obteniendo un valor de $P=0.002$, lo que al ser $P<\alpha$, $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%, indicó la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Para identificar los tratamientos con diferencias significativas se realizó una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%, obteniendo que T5 es estadísticamente diferente a T2 y T6, mientras que T1, T3 y T4 no mostraron diferencias estadísticas respecto a T5, aun cuando este último mostró una tendencia hacia un mayor rendimiento (Figura 13). El resultado en la investigación de Díaz (2021) es contrario al obtenido, ya que reportó que una nutrición agroecológica con vermicomposta no presentó

diferencias significativas en el rendimiento de jitomate en calibre G frente a tratamientos con el 70% y 100% de nutrición química.



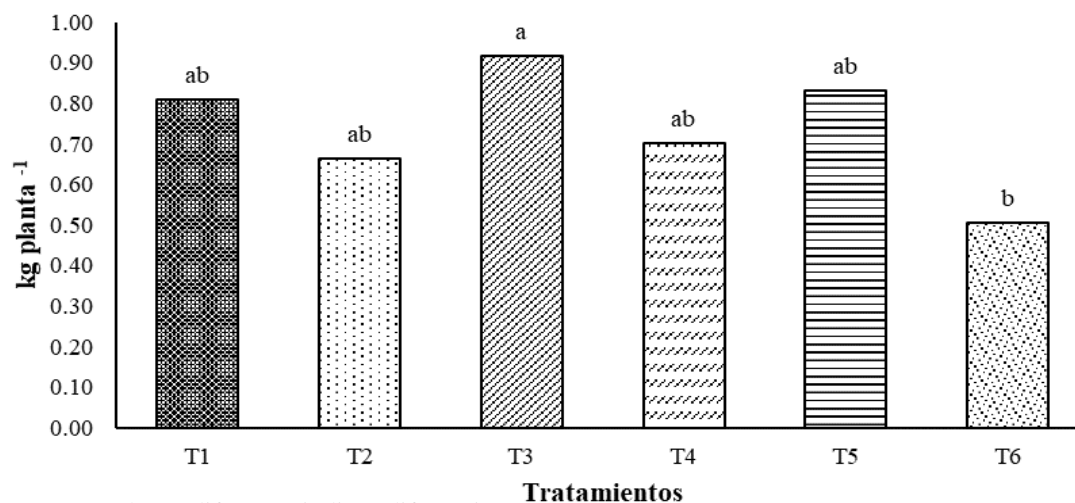
Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$)

Figura 13. Rendimiento de jitomate (kg planta⁻¹) calibre grande (G de 59 mm a 70 mm) en el presente experimento.

3.10.4. Rendimiento de jitomate variedad Reserva calibre mediano (M de 51 mm a 60 mm)

Los datos obtenidos del rendimiento en calibre mediano (M de 51 mm a 60 mm), fueron analizados mediante la prueba de Bartlett para verificar la homogeneidad de las varianzas, obteniendo un valor de $P=0.328$, lo que indicó que estas fueron homogéneas. Por otro lado, el análisis ANOVA brindó el resultado de $P=0.014$, por lo que al ser $P < \alpha$, se concluyó que al menos un tratamiento presentó diferencias significativas en el rendimiento de calibre mediano, considerando un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%. Para identificar los tratamientos con diferencias estadísticas, se realizó un análisis de comparación de medias utilizando la prueba Tukey con un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%, arrojando diferencias significativas entre T3 y T6, mientras que T1, T2, T3, T4 y T5, no presentaron diferencias significativas en comparación con T3 y T6. La Figura 14 muestra el rendimiento promedio de cada tratamiento y sus diferencias estadísticas.

En cuanto al rendimiento en calibre M, Díaz (2021) tampoco encontró diferencias significativas en los resultados evaluados con una producción agroecológica completa, una producción química al 70% y una producción química al 100%.



Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$)

Figura 14. Rendimiento de jitomate (kg planta⁻¹) calibre mediano (M de 51 mm a 60 mm) en el presente experimento.

3.10.5. Rendimiento de jitomate variedad Reserva calibre chico (CH de 38 mm a 52 mm)

Para el calibre chico (CH de 38 mm a 52 mm), los datos fueron analizados a través de la prueba de Bartlett para verificar la homogeneidad entre las varianzas en los datos de los tratamientos, obteniéndose como resultado un valor de $P=0.100$, que al ser $P > \alpha$, donde $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%, mostró que las varianzas fueron homogéneas. Esto permitió realizar un análisis de varianza a los datos del rendimiento de jitomate en calibre CH, resultando un valor de $P=0.726$, al ser $P > \alpha$, $\alpha=0.05$ con un nivel de confianza del 95%, no se encontraron diferencias significativas entre los seis tratamientos en calibre CH, aunque T2 mostró una tendencia de rendimiento superior al resto de los tratamientos.

En la Tabla 31 se observa el rendimiento promedio en calibre CH de cada tratamiento. Por su parte Díaz (2021) reportó la existencia de diferencias significativas en el rendimiento obtenido en este mismo calibre al evaluar una producción agroecológica completa en

jitomate, una producción química al 70% más nutrición agroecológica y una producción química al 100%.

Tabla 31. Rendimiento de jitomate (kg planta⁻¹) variedad Reserva calibre chico (CH de 38 mm a 52 mm) en el presente experimento.

Tratamiento	Promedio kg planta ⁻¹		e. e.	Análisis de medias Tukey
T1	0.42	±	0.035	a
T2	0.53	±	0.093	a
T3	0.38	±	0.022	a
T4	0.43	±	0.059	a
T5	0.46	±	0.037	a
T6	0.46	±	0.112	a

e. e. = Error estándar.

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias ($P \leq 0.05$).

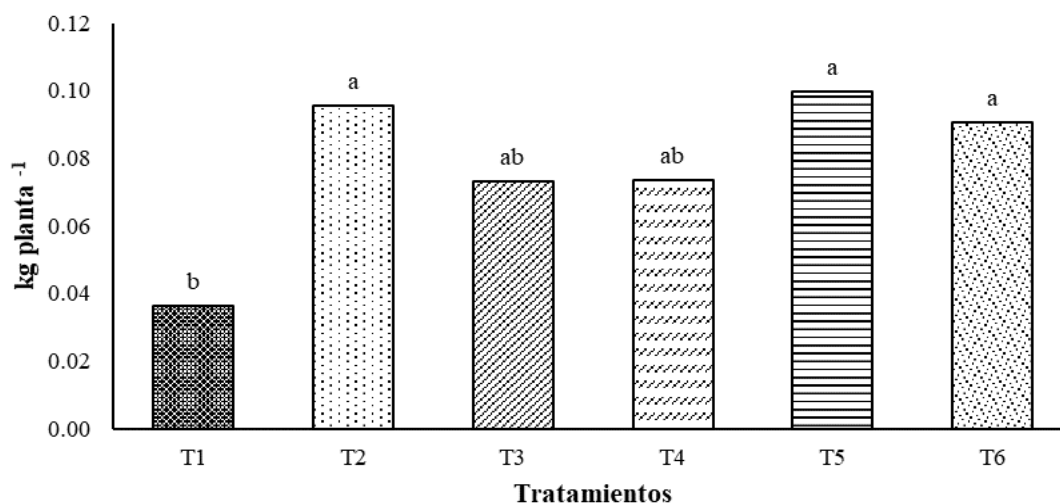
3.10.6. Rendimiento de jitomate variedad Reserva calibre no comercial (NC<38 mm)

En el análisis de rendimiento del calibre más pequeño correspondiente al no comercial (NC<38 mm), los datos fueron evaluados en primera instancia a través de un estudio de homogeneidad de varianzas utilizando la prueba Bartlett con un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%, resultando una $P=0.178$, por lo que, al ser $P > \alpha$, se determinó que las varianzas de los seis tratamientos fueron homogéneas, permitiendo realizar un análisis de varianza.

Al realizar el análisis de varianza a los datos de rendimiento de jitomate con calibre NC, se determinó una $P=0.005$, siendo $P < \alpha$ y considerando un $\alpha=0.05$ con un nivel de confianza del 95%, se concluyó la existencia de diferencias significativas del rendimiento obtenido en calibre NC en los seis tratamientos. La comparación de medias utilizando la prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%, mostró que la mayor significancia estuvo entre T5 y T1, siendo T5 el tratamiento con mayor rendimiento en calibre NC y T1 el de menor rendimiento.

En la Figura 15 se muestran las producciones promedio en calibre NC obtenidas de cada tratamiento, junto con sus diferencias significativas. En su investigación Díaz (2021) obtuvo resultados diferentes, ya que no encontró diferencias significativas en el rendimiento de

jitomate en calibre NC con una nutrición agroecológica a base de vermicomposta y una producción química al 70% más nutrición agroecológica y una producción 100% química.



Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$)

Figura 15. Rendimiento de jitomate (kg planta⁻¹) calibre no comercial (NC<38 mm) en el presente experimento.

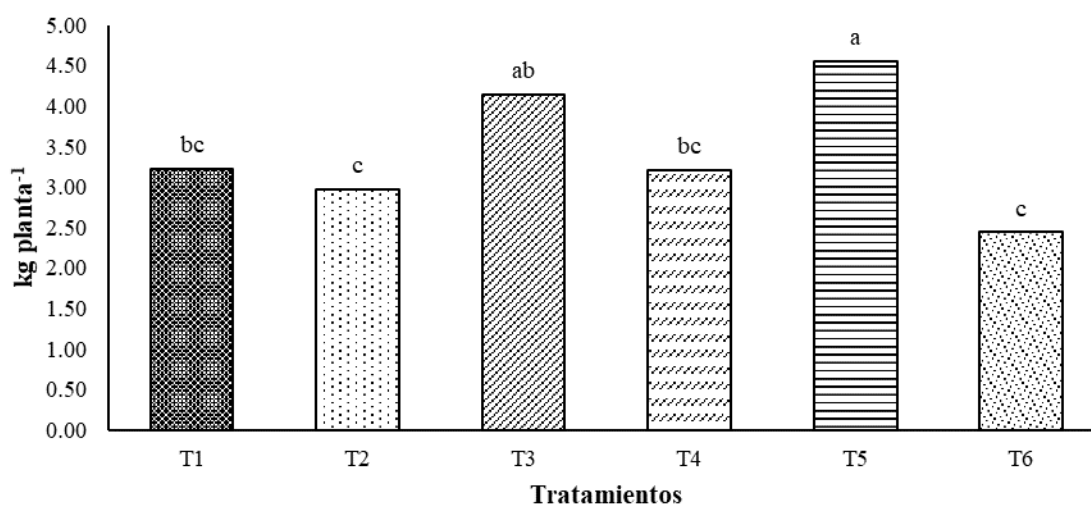
3.10.7. Rendimiento total de jitomate variedad Reserva

El análisis estadístico realizado de los datos de la variable rendimiento total de jitomate comenzó con una prueba de Bartlett, esto con la finalidad de validar la homogeneidad de las varianzas, dando como resultado un valor de $P=0.893$, indicando que las varianzas de los distintos tratamientos fueron homogéneas, esto debido a que $P > \alpha$, considerando un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%.

En el análisis ANOVA, se obtuvo un valor de $P=0.0001$, dado que $P < \alpha$, y $\alpha=0.05$ con un nivel de confianza del 95%, se corroboró la existencia de diferencias estadísticas entre al menos uno de los tratamientos; por ello, se realizó un análisis de medias utilizando la prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$ y con un nivel de confianza del 95%, concluyendo que T5 y T3 no mostraron diferencias significativas entre sí, sin embargo, T1, T2, T4 y T6 sí tuvieron diferencias significativas con respecto a T5 y T3, como se observa en la Figura 16. Estos resultados sugieren que el uso de bioles en combinación con una fertilización química al 50%

es una alternativa viable para la producción agroecológica de jitomate en invernadero sembrado en suelo, ya que permite reducir el consumo de fertilizantes químicos en un 50%.

En cuanto al rendimiento total de jitomate, Capulin *et al.* (2011) obtuvieron resultados semejantes, ya que su investigación no mostró diferencias significativas entre el rendimiento de jitomate utilizando extractos líquidos de estiércol bovino y tratamientos con manejo de nutrición química. Por su parte, Bustos *et al.* (2017) tampoco hallaron diferencias estadísticas entre el uso de bioles y un control químico. De forma similar, Díaz (2021) reportó información similar, al emplear enmiendas orgánicas de vermicomposta y nutrición química en el rendimiento de jitomate producido en invernadero.



Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$)

Figura 16. Rendimiento total de jitomate (kg planta^{-1}) variedad Reserva en el presente experimento.

El análisis del rendimiento de jitomate mostró que el uso de Biol+50% FQ como medio de nutrición en el cultivo generó un rendimiento estadísticamente similar al logrado con una fertilización química completa, con la ventaja de emplear un 50% menos de fertilizantes químicos. Estos resultados fueron comparables a los obtenidos por González, Gallegos, *et al.* (2021) quienes realizaron un estudio en melones y combinaron un nutrición química con fuentes biológicas y orgánicas, concluyendo que el uso combinado de fuentes orgánicas y fertilizantes químicos pueden mejorar significativamente el rendimiento frente al uso exclusivo de fertilización química, estos autores comentan que la práctica de combinar

productos biológicos, orgánicos y químicos promueven una actividad microbiana que ayuda a la disponibilidad de los nutrientes aplicados y a la absorción de los mismos aumentando con ello el rendimiento esperado del cultivo y la disminución de fuentes químicas de nutrición.

3.10.8. Vida de anaquel de jitomate variedad Reserva

Los datos de vida de anaquel (Tabla 32) se recolectaron considerando los días durante los cuales los frutos no mostraron daños mayores a 5 mm, ya fuese por deshidratación, flacidez o por presencia de algunas manchas (elementos que reflejan que el producto no se encuentra apto para comercialización) en el cuerpo de los frutos de jitomate. Estos datos fueron analizados mediante una prueba de Bartlett con la finalidad de validar la existencia de homogeneidad de las varianzas, considerando un $\alpha=0.05$ y un nivel de confianza del 95%, obteniendo como resultado un valor de $P=0.703$, por lo que, al ser $P>\alpha$, indicó que las varianzas de los seis tratamientos fueron homogéneas, permitiendo realizar un análisis ANOVA para detectar la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos.

Para el análisis de varianza, se consideró un $\alpha=0.05$ y nivel de confianza igual a 95%, obteniéndose un resultado de $P=0.296$, al ser $P>\alpha$ se concluyó que no se encontraron diferencias significativas entre los días de vida de anaquel entre tratamientos. Sin embargo, T1, T2 y T4 mostraron una tendencia a una mayor vida de anaquel con 9, 8, 9 días más de duración respectivamente, en comparación con T5 y T6; por lo que, para condiciones comerciales, la capacidad de conservar los frutos en buenas condiciones por un mayor tiempo es un factor clave en la calidad del producto, como lo mencionan (Gastelum, 2017). Por otra parte, Mendoza (2005) obtuvo un resultado similar a los encontrados en esta investigación, al estudiar el efecto de fuentes orgánicas en la vida de anaquel de jitomates, destacando que los tratamientos que utilizaron una fertilización orgánica presentaron una tendencia a prolongar la vida del fruto, posiblemente debido a la nutrición orgánica utilizada. Salas *et al.* (2016) reportaron que el uso de un sustrato orgánico mejoró el peso, tamaño y grosor de pericarpio del fruto de jitomate, factores que influyen en la vida de anaquel del cultivo. Estudios más recientes como el de da Silva *et al.* (2024), han demostrado que el uso de microorganismos como el *Bacillus subtilis* pueden retardar el proceso de senescencia natural

del jitomate, alargando la vida de anaquel. De esta forma, es probable que la inoculación de microorganismos al suelo mediante bioles y MML por medio de la fertilización, pudo favorecer la vida de anaquel en los frutos de jitomate.

Tabla 32. Vida de anaquel de jitomates (días) variedad Reserva en los 6 tratamientos evaluados en el presente experimento.

Tratamiento	Vida de anaquel días fruto ⁻¹		e. e.	Análisis de medias Tukey
T1	51	±	3.359	a
T2	50	±	1.893	a
T3	46	±	4.633	a
T4	51	±	2.053	a
T5	42	±	3.737	a
T6	43	±	3.660	a

e. e. = Error estándar.

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias ($P \leq 0.05$).

3.11. Evaluación financiera de la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo utilizando seis diferentes tratamientos de fertilización

3.11.1. Análisis de costos e ingresos del experimento

Para la determinación de los costos del experimento, se contemplaron las inversiones realizadas en dos rubros: 1) Costos fijos y 2) Costos variables, los cuales se muestran en las Tablas 33 y 34 respectivamente. Los ingresos fueron el reflejo del rendimiento obtenido multiplicado por el precio promedio de ventas desde el inicio de producción hasta el final de la misma. El precio de venta se obtuvo del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM), considerando también, la disminución de un peso al calibre M (segunda calidad), de tres pesos para el calibre CH (calidad tercera), y un 70% de descuento sobre el precio del jitomate en calidad tercera para el calibre NC, con base a la experiencia de comercialización en la central de abastos de Puebla Capital (Tabla 36).

En cuanto a los costos variables (Tabla 33), estos comprendieron la suma de: a) Materia prima e insumos utilizados, b) Mano de obra directa, y c) Costos de producción, teniendo un total de costos variables en T1=\$779.37, T2=\$763.42, T3=\$786.88, T4=\$766.52, T5=\$797.72 y T6=\$712.31. La diferencia entre los costos variables de cada tratamiento fue

resultado de a la inversión realizada en los fertilizantes, siendo T5 el tratamiento con el mayor costo variable en comparación a los demás.

Los costos fijos (Tabla 34) fueron el resultado de la suma de los costos de venta más los costos de administración, obteniendo como costos fijos totales \$53.50 para cada tratamiento.

El rendimiento obtenido por cada tratamiento se muestra en la Tabla 35, en ella se observa el rendimiento obtenido por calibre, rendimiento total y rendimiento promedio por planta. El mayor rendimiento lo obtuvo T5 con 182.07 kg, seguido de T3 con 165.85 kg, estando en tercer sitio T1 con 129.07 kg, continuado con T4 el cual obtuvo 128.20 kg, T2 se ubicó en penúltimo lugar con 118.71 kg y T6 obtuvo el menor rendimiento con 97.52 kg. Los rendimientos promedio por planta fueron: T1=3.23 kg planta⁻¹, T2=2.97 kg planta⁻¹, T3=4.15 kg planta⁻¹, T4=3.20 kg planta⁻¹, T5=4.55 kg planta⁻¹, y T6=2.44 kg planta⁻¹.

El precio de comercialización (Tabla 36) se obtuvo mediante el promedio de precios de venta de jitomate saladette calidad primera entre el 23 de septiembre del 2023 (inicio de cosecha) y el 03 de noviembre del mismo año (fin de cosecha). Los precios utilizados para evaluar las ventas de jitomate fueron tomados y promediados a partir de los valores publicados en el SNIIM, correspondientes a la venta de jitomate de calidad primera producido en invernadero y vendido en la Central de Abastos de la Ciudad de Puebla. Se consideraron los siguientes precios de comercialización: calibre XL y G de \$18.00 por kilogramo; calibre M \$17.00 por kilogramo (un peso menos que el precio mayor); calibre CH \$15.00 por kilogramos (3 pesos menos que el calibre mayor); y calibre NC fue de \$4.50 por kilogramo (30% sobre el precio de venta del calibre chico).

Tabla 33. Costos variables en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo utilizando seis tratamientos diferentes de fertilización.

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario	Costos variables					
			Tratamiento					
			T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
Materia prima e insumos			\$ 373.12	\$ 357.17	\$ 380.63	\$ 360.27	\$ 391.47	\$ 306.06
Material vegetativo								
Plántula de Jitomate saladette	Pieza	\$ 4.00	\$ 160.00	\$ 160.00	\$ 160.00	\$ 160.00	\$ 160.00	\$ 160.00
Consumible								
Acolchado	m	\$ 1.22	\$ 48.96	\$ 48.96	\$ 48.96	\$ 48.96	\$ 48.96	\$ 48.96
Cintilla	m	\$ 0.98	\$ 70.28	\$ 70.28	\$ 70.28	\$ 70.28	\$ 70.28	\$ 70.28
Rafia	m	\$ 0.11	\$ 8.51	\$ 8.51	\$ 8.51	\$ 8.51	\$ 8.51	\$ 8.51
Anillos	Pieza	\$ 0.14	\$ 5.40	\$ 5.40	\$ 5.40	\$ 5.40	\$ 5.40	\$ 5.40
Fertilizantes								
Biol	L	\$ 1.27	\$ 67.06	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
MML	L	\$ 2.35	\$ -	\$ 51.11	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Biol + 50% Q	L	\$ 1.41	\$ -	\$ -	\$ 74.57	\$ -	\$ -	\$ -
MML + 50% Q	L	\$ 2.49	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 54.21	\$ -	\$ -
Químico (nitrato de calcio)	kg	\$ 15.60	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 85.41	\$ -
Agua	L	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Control de plagas y enfermedades								
Extracto de neem	L	\$ 415.00	\$ 4.32	\$ 4.32	\$ 4.32	\$ 4.32	\$ 4.32	\$ 4.32
Extracto de tajetes	L	\$ 360.00	\$ 4.50	\$ 4.50	\$ 4.50	\$ 4.50	\$ 4.50	\$ 4.50
Jabón potásico	L	\$ 175.00	\$ 1.09	\$ 1.09	\$ 1.09	\$ 1.09	\$ 1.09	\$ 1.09
Gluconato de cobre	L	\$ 480.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00
Mano de obra directa			\$ 387.50	\$ 387.50	\$ 387.50	\$ 387.50	\$ 387.50	\$ 387.50
Preparación y siembra	Jornal	\$ 200.00	\$ 12.50	\$ 12.50	\$ 12.50	\$ 12.50	\$ 12.50	\$ 12.50

Continuación de Tabla 33...

Manejo	Jornal	\$ 200.00	\$ 266.67	\$ 266.67	\$ 266.67	\$ 266.67	\$ 266.67	\$ 266.67	\$ 266.67
Cosecha	Jornal	\$ 200.00	\$ 100.00	\$ 100.00	\$ 100.00	\$ 100.00	\$ 100.00	\$ 100.00	\$ 100.00
Limpieza	Jornal	\$ 200.00	\$ 8.33	\$ 8.33	\$ 8.33	\$ 8.33	\$ 8.33	\$ 8.33	\$ 8.33
Costos de producción			\$ 18.75	\$ 18.75	\$ 18.75	\$ 18.75	\$ 18.75	\$ 18.75	\$ 18.75
Cuota de agua riego	Cuota	\$ 150.00	\$ 18.75	\$ 18.75	\$ 18.75	\$ 18.75	\$ 18.75	\$ 18.75	\$ 18.75
Total de costos variables			\$ 779.37	\$ 763.42	\$ 786.88	\$ 766.52	\$ 797.72	\$ 712.31	

Tabla 34. Costos variables en la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo utilizando seis tratamientos diferentes de fertilización.

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario	Costos fijos						
			Tratamiento						
			T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	
Costos de venta			\$ 48.50	\$ 48.50	\$ 48.50	\$ 48.50	\$ 48.50	\$ 48.50	\$ 48.50
Entrega de Producto	Costo	\$ 250.00	\$ 37.50	\$ 37.50	\$ 37.50	\$ 37.50	\$ 37.50	\$ 37.50	\$ 37.50
Gasolina	L	\$ 22.00	\$ 11.00	\$ 11.00	\$ 11.00	\$ 11.00	\$ 11.00	\$ 11.00	\$ 11.00
Costos de administración			\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00
Teléfono	Pago	\$ 200.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00
Total costos fijos			\$ 53.50	\$ 53.50	\$ 53.50	\$ 53.50	\$ 53.50	\$ 53.50	\$ 53.50

Tabla 35. Rendimiento de jitomate (kg tratamiento⁻¹) en invernadero sembrado en suelo utilizando seis tratamientos con diferentes fuentes de fertilización.

Rendimiento de jitomate							
Concepto	Unidad de medida	Tratamiento					
		T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
Rendimiento calidad XL	kg Tratamiento ⁻¹	17.29	14.89	32.29	10.96	36.46	13.99
Rendimiento calidad G	kg Tratamiento ⁻¹	61.10	52.20	78.99	69.17	90.15	41.22
Rendimiento calidad M	kg Tratamiento ⁻¹	32.34	26.51	36.68	28.10	33.23	20.19
Rendimiento calidad CH	kg Tratamiento ⁻¹	16.88	21.28	14.97	17.01	18.25	18.51
Rendimiento calidad NC	kg Tratamiento ⁻¹	1.45	3.82	2.92	2.94	3.99	3.62
Rendimiento total	kg	129.07	118.71	165.85	128.20	182.07	97.52
Rendimiento promedio	kg Planta ⁻¹	3.23	2.97	4.15	3.20	4.55	2.44

XL=Tamaño de frutos de jitomates >70 mm; G=Tamaño de frutos de jitomates de 59 a 70 mm; M=Tamaño de frutos de jitomates 51 a 60 mm; CH=Tamaño de frutos de jitomates 38 a 52 mm; NC= Tamaño de frutos de jitomates <38 mm.

Tabla 36. Precios de venta de jitomate en invernadero tipo saladette reportados por el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados para la Central de Abastos de Puebla.

Precio de venta de jitomate							
Concepto	Unidad de medida	Tratamiento					
		T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
Precio calidad XL	Pesos kg ⁻¹	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Precio calidad G	Pesos kg ⁻¹	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Precio calidad M	Pesos kg ⁻¹	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Precio calidad CH	Pesos kg ⁻¹	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Precio calidad NC	Pesos kg ⁻¹	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
Precio promedio de jitomate	Pesos kg ⁻¹	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50

XL=Tamaño de frutos de jitomates >70 mm; G=Tamaño de frutos de jitomates de 59 a 70 mm; M=Tamaño de frutos de jitomates 51 a 60 mm; CH=Tamaño de frutos de jitomates 38 a 52 mm; NC= Tamaño de frutos de jitomates <38 mm.

El análisis de los ingresos obtenidos por la venta de jitomate (Tabla 37), reflejó que T5 fue el tratamiento con mayores ingresos, alcanzando un total de \$3,135.45, debido a que en este tratamiento se comercializó un mayor rendimiento; en segundo lugar se encontró T3 con una venta total de \$2,864.34; en tercer sitio estuvo T1 con un ingreso total de \$2,220.58; en cuarta posición se encontró T4 con un ingreso total de \$2,188.66; en quinto lugar estuvo T2 con un ingreso de \$1,994.76; y finalmente T6 con \$1,630.80.

Tabla 37. Ingresos en pesos mexicanos por la venta de jitomate en fresco tipo saladette producido en invernadero en suelo en el presente experimento.

Ingresos por la venta de jitomate								
Concepto	Unidad de medida	Precio de venta	Tratamiento					
			T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
Venta calidad XL	Pesos	18.00	311.22	268.07	581.25	197.35	656.23	251.75
Venta calidad L	Pesos	18.00	1,099.76	939.57	1,421.84	1,245.08	1,622.73	741.97
Venta calidad M	Pesos	17.00	549.84	450.72	623.48	477.77	564.86	343.16
Venta calidad CH	Pesos	15.00	253.22	319.20	224.62	255.22	273.69	277.62
Venta calidad NC	Pesos	4.50	6.54	17.20	13.15	13.24	17.94	16.31
Venta total	Pesos	14.50	2,220.58	1,994.76	2,864.34	2,188.66	3,135.45	1,630.80
Venta promedio de jitomate	Pesos kg ⁻¹	-	17.20	16.80	17.27	17.07	17.22	16.72

XL=Tamaño de frutos de jitomates >70 mm; G=Tamaño de frutos de jitomates de 59 a 70 mm; M=Tamaño de frutos de jitomates de 51 a 60 mm; CH=Tamaño de frutos de jitomates de 38 a 52 mm; NC= Tamaño de frutos de jitomates <38 mm.

Fuente: Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM).

3.11.2. Análisis financiero del experimento

La Tabla 38 muestra los resultados del análisis financiero realizado a los seis tratamientos: utilidad bruta y margen de utilidad, Relación Beneficio/Costo (R B/C), Punto de Equilibrio (PE), Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

La utilidad bruta y el margen de utilidad permitieron identificar que tratamientos obtuvieron mejores ganancias; en este sentido, T5 mostró el mayor margen de ganancia equivalente al 73% de los ingresos totales, seguido de T3 con un 71%, T4 con 63%, T1 con 62%, T2 con 69%, y T6 con 53%.

El PE fue otro factor evaluado, ya que es fundamental conocer el rendimiento y ventas necesarias para poder cubrir los costos fijos y costos variables. Los resultados obtenidos indican que el PE se logró con el siguiente rendimiento por tratamiento T= 6.32 kg, T2= 6.63 kg, T3= 5.48 kg, T4= 6.28 kg, T5= 5.29kg y T6= 7.43 kg, con un precio promedio de venta de \$14.50 por kg de jitomate. Esto representa que el PE se alcanzó con los siguientes porcentajes de las ventas totales: T1= 4%, T2= 5%, T3= 3%, T4= 4%, T5= 2% y T6= 7%. Se pudo notar que el PE fue relativamente bajo, debido a que los costos fijos representaron en promedio el 7% de los costos totales, siendo mucho menores a los costos variables, lo que dio como resultado un PE menor al 10%.

La R B/C indicó el beneficio obtenido después de cubrir los costos. El análisis de estas variables permitió mostrar que el tratamiento con mayor beneficio por cada peso invertido fue T5= \$2.68, seguido de T3= \$2.41, T1= \$1.67, T4= \$1.67, T2= \$1.44 y T6= \$1.13.

El VPN obtenido comparó los flujos de efectivo actualizados en un momento específico (ingresos actualizados – egresos actualizados) contra la inversión realizada. Los resultados del análisis mostraron que los tratamientos con valores positivos, es decir, con ganancias económicas fueron, T5 con \$2,435.68 y T3 con \$1,588.43; mientras que, los tratamientos con valores negativos, que representan la cantidad de dinero requerido para que la inversión pueda tener una ganancia, fueron: T1 con -\$482.68, T2 con -\$1,165.89, T4 con -\$ 544.78, y T6 con -\$2,184.26.

Finalmente, la TIR representó el porcentaje de rentabilidad máxima que puede obtenerse en una inversión. Los resultados obtenidos fueron $T1=12.02\%$, $T2=5.72\%$, $T3=29.26\%$, $T4=11.46\%$, $T5=35.79\%$ y $T6=-4.65\%$. Se observa que la mayor rentabilidad se obtuvo con T5, seguido de T3, aunque T1, T2 y T4, alcanzaron valores positivos de rentabilidad, éstos fueron inferiores a la TREMA (Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable) de 16.25% , por lo que dichos tratamientos no logran satisfacer el rendimiento mínimo esperado; ocurriendo lo mismo con T6 al obtener un valor negativo.

Tabla 38. Análisis financiero realizado a la producción de jitomate en invernadero en suelo utilizando bioles y microorganismos de montaña líquidos de autoproducción para su nutrición agroecológica.

Análisis financiero							
Concepto	Unidad	Tratamiento					
		T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
Rendimiento total de jitomate	kg	129.07	118.71	165.85	128.20	182.07	97.52
Ingreso total de jitomate	Pesos	2,220.58	1,994.76	2,864.34	2,188.66	3,135.45	1,630.80
Egreso total	Pesos	832.87	816.92	840.38	820.02	851.22	765.81
Total costos variables	Pesos	779.37	763.42	786.88	766.52	797.72	712.31
Total costos fijos	Pesos	53.50	53.50	53.50	53.50	53.50	53.50
Indicadores financieros							
Inversión evaluada	Pesos	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00
Costo de producción por kg	Pesos	6.04	6.43	4.74	5.98	4.38	7.30
Utilidad bruta (Ingresos - Egresos)	Pesos	1,387.71	1,177.83	2,023.95	1,368.64	2,284.23	864.99
Margen de utilidad (%)	%	62	59	71	63	73	53
Relación Beneficio / Costo	-	1.67	1.44	2.41	1.67	2.68	1.13
Punto de Equilibrio (PE unidades)	kg	6.32	6.63	5.48	6.28	5.29	7.43
Punto de Equilibrio (PE \$)	Pesos	91.68	96.14	79.52	91.04	76.67	107.80
Punto de Equilibrio (PE %)	%	4	5	3	4	2	7
Valor Presente Neto (VPN)	Pesos	-482.68	-1,165.89	1,588.43	-544.78	2,435.68	-2,184.26
TREMA o Tasa de actualización	%	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
Tasa Interna de Retorno (TIR)	%	12.02	5.72	29.26	11.46	35.79	-4.65

3.11.3. Análisis financiero para la producción de una hectárea de cultivo de jitomate utilizando los datos obtenidos en el diseño experimental evaluado

Uno de los objetivos planteados fue evaluar financieramente las propuestas nutritivas mediante indicadores como los costos de producción, PE, R B/C, VPN y TIR, lo cual se realizó en el apartado anterior; sin embargo, para ampliar este análisis, se realizó una extrapolación de los resultados obtenidos de cada tratamiento hacia la producción de jitomate en una hectárea de invernadero considerando 15 racimos de producción (Tabla 39).

Con referencia a la utilidad bruta y el margen de utilidad obtenido se puede observar que se presentó una tendencia similar a la evaluación financiera realizada en el apartado anterior, donde T5 mostró la mayor ganancia en comparación con los demás tratamientos cuyo valor fue de \$4,754,824.18 correspondiente al 80.88% de los ingresos totales, seguido de T3 con \$4,257,323.97 representando el 79.27% de los ingresos, T1 ocupó la tercera posición con \$3,055,796.93 equivalente al 73.39% de los ingresos, T4 tuvo ganancias de \$3,010,788.53 lo que representó el 73.37%, T2 proporcionó utilidades de \$2,650,324.33 lo que correspondió al 70.86% de los ingresos y T6 aportó una utilidad de \$2,019,023.24 equivalente al 66.03% de los ingresos.

El análisis del PE mostró que, para alcanzar a cubrir los costos de producción, el rendimiento requerido por tratamiento fue: T1=38,846.97 kg, T2=39,216.24 kg, T3=36,897.35 kg, T4=38,562.74 kg, T5=36,438.11 y T6=40,386.82 kg, con un precio promedio de venta de \$14.50 por kg de jitomate. Estos volúmenes representaron los siguientes porcentajes de las ventas totales para alcanzar el PE: T1=13.53%, T2=15.20%, T3=9.96%, T4=13.63%, T5=8.99%, T6=19.15%. Se puede notar que el PE obtenido para una hectárea de producción fue mayor al obtenido en el apartado anterior, ya que el incremento en la extensión de la unidad productiva aumento los costos variables y los costos fijos en diferente proporción, esto se debió a que en una ha, se requiere mayor inversión en rubros de administración y ventas.

En cuanto a la R B/C se obtuvo una tendencia similar al apartado anterior; siendo el tratamiento con mejor beneficio por cada peso invertido T5 con una R B/C de \$4.23, seguido de T3 con \$3.82, T1 con \$2.76, T4 con \$2.75, T2 con \$2.43, y T6 con \$1.94.

Fue relevante observar que el VPN en todos los tratamientos fue positivo, indicando beneficios financieros para la inversión en una hectárea de producción en los seis tratamientos. Los valores obtenidos del VPN fueron: T1=\$6,147,321.25, T2=\$4,827,414.78, T3=\$10,058,567.91, T4=\$6,000,808.59, T5=\$11,678,045.41 y T6=\$2,772,384.64.

Los resultados de la TIR mostraron el mismo efecto que el VPN, obteniendo valores en los tratamientos de: T1=75.60%, T2=63.84%, T3=109.24%, T4=74.31%, T5=122.85%, y T6=44.78%, lo que indicó que los seis tratamientos pudieron ofrecer una rentabilidad superior a una TREMA del 16.25%.

Tabla 39. Análisis financiero realizado a la producción de jitomate en invernadero en suelo en una hectárea utilizando bioles y microorganismos de montaña líquidos de autoproducción para su nutrición agroecológica.

Análisis financiero							
Concepto	Unidad	Tratamiento					
		T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
Rendimiento total de jitomate	ton	242.00	222.57	310.98	240.37	341.38	182.86
Ingreso total de jitomate	Pesos	4,163,585.00	3,740,168.91	5,370,628.13	4,103,729.22	5,878,966.25	3,057,755.31
Egreso total	Pesos	1,107,788.07	1,089,844.57	1,113,304.15	1,092,940.69	1,124,142.07	1,038,732.07
Total costos variables	Pesos	648,628.07	632,684.57	656,144.15	635,780.69	666,982.07	581,572.07
Total costos fijos	Pesos	459,160.00	457,160.00	457,160.00	457,160.00	457,160.00	457,160.00
Indicadores financieros							
Inversión evaluada	Pesos	3,800,000.00	3,800,000.00	3,800,000.00	3,800,000.00	3,800,000.00	3,800,000.00
Costo de producción por kg	Pesos	2,680.29	2,842.58	2,109.95	2,645.03	1,953.80	3,180.47
Utilidad bruta (Ingresos - Egresos)	Pesos	3,055,796.93	2,650,324.33	4,257,323.97	3,010,788.53	4,754,824.18	2,019,023.24
Margen de utilidad (%)	%	73	71	79	73	81	66
Relación Beneficio / Costo	-	3.76	3.43	4.82	3.75	5.23	2.94
Punto de Equilibrio (PE unidades)	kg	38,846.97	39,216.24	36,897.35	38,562.74	36,438.11	40,386.82
Punto de Equilibrio (PE \$)	Pesos	563,281.08	568,635.45	535,011.54	559,159.70	528,352.65	585,608.92
Punto de Equilibrio (PE %)	%	13.53	15.20	9.96	13.63	8.99	19.15
Valor Presente Neto (VPN)	Pesos	6,147,321.25	4,827,414.78	10,058,567.91	6,000,808.59	11,678,045.41	2,772,384.64
TREMA o Tasa de actualización	%	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
Tasa Interna de Retorno (TIR)	%	75.60	63.84	109.24	74.31	122.85	44.78

El análisis financiero realizado a la producción de jitomate en invernadero sembrado en suelo utilizando seis tratamientos de fertilización distintos, permitió identificar las ventajas financieras de los tratamientos orgánicos (Biol y MML) frente al tratamiento químico (FQ) mediante la evaluación de los costos de producción, la utilidad, el Punto de Equilibrio (PE), la Relación Beneficio/Costo (R B/C), el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) en cada tratamiento. El análisis mostró que los tratamientos con una nutrición orgánica (T2) y aquellos que combinaron nutrición orgánica y química (T3 y T4) tuvieron un costo total menor que el de fertilización química (T5), sin embargo, el rendimiento alcanzado por T5 redujo el costo unitario de producción, incrementando la utilidad bruta, disminuyendo el PE y alcanzando mayores valores en R B/C, VAN y TIR, lo que posicionó a este último tratamiento como el que mostró mejores indicadores financieros.

Este hallazgo coincide con un estudio realizado por Díaz (2021) quien reportó una reducción del 30% en los costos de fertilización química al combinar vermicomposta con una fertilización química. Así mismo, Serrano *et al.* (2022) concluyeron que el uso de biofertilizantes como *Azospirillum brasilense* pudo reducir un 25% de la fertilización nitrogenada, generando beneficios económicos en la producción de jitomate. Adicionalmente, Monsalve *et al.* (2021), Nosheen *et al.* (2021) y Chaudhary *et al.* (2022) señalaron que el uso de biofertilizantes puede reducir a mediano plazo los costos asociados a la recuperación de la fertilidad del suelo, debido al incremento de la capacidad de intercambio catiónico, producto de la incorporación de materia orgánica y minerales al suelo; lo que facilita la disponibilidad de nutrientes a través de la actividad microbiológica en el suelo, reduciendo la necesidad futura de fertilizantes adicionales, lo que reduce los costos asociados a estos productos, y a la vez, permitiendo alcanzar mejores rendimientos.

4. Conclusiones

El uso de bioles adicionando un 50% de fertilización química no mostraron diferencias significativas con respecto al uso de una fertilización 100% química ($P \leq 0.05$) en el rendimiento de jitomate en invernadero sembrado en suelo, donde la utilización de una mezcla de bioles y un 50% de fertilización química (T3) alcanzó un rendimiento por planta de 4.15 kg y una vida de anaquel de 46 días, en comparación con un rendimiento de 4.55 kg planta⁻¹ y 42 días de vida de anaquel con fertilización 100% química (T5).

Los indicadores financieros reflejaron que es posible obtener ahorros en el costo de producción utilizando un 50% menos de fertilización química, al alcanzar un costo de producción con T3 (bioles más 50% de fertilización química) de \$786.88; un PE de \$79.52; una R B/C de 2.41, que representa \$1.41 de ganancia por cada peso invertido; una VAN de \$1,588.43 y una TIR del 29.26%, evidenciando que la combinación de bioles con fertilización química puede ser financieramente viable y sostenible.

Se recomienda realizar investigaciones futuras en las que se pueda replicar las metodologías utilizadas, con el fin de evaluar posibles cambios en las variables consideradas en esta investigación en otros periodos de tiempo.

5. Bibliografía

- Aguado, S. (2012). *Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura*. México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. INIFAP/SAGARPA.
- Aguilera, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin Habana* 11 (2): 322-343. Recuperado en, 29.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., & Ingelmo, F. (2000). Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource technology*, 75(1), 43-48.
- Alcántar, G. G., & Sandoval, V. M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal: guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación*. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., & Gan, S. H. (2020). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, 10(1), 45.
- Allende, M., Salinas, L., & Torres, A. (2017). *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*. INIA, Chile.
- Allouzi, M. M. A., Allouzi, S. M. A., Keng, Z. X., Supramaniam, C. V., Singh, A., & Chong, S. (2022). Liquid biofertilizers as a sustainable solution for agriculture. *Heliyon*, 8(12).
- Altieri, M. A. (1999). *Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Nordan Comunidad. Paraguay.
- Altieri, M. A. (2018). *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. CrC press.

- Ameen, A., & Raza, S. (2017). Green revolution: a review. *International Journal of Advances in Scientific Research*, 3(12), 129-137.
- Amoako, O. P., Owusu, N. S., Opoku, A. F., Agbleke, D., & Naalamle, A. J. (2022). Greenhouse tomato production for sustainable food and nutrition security in the tropics. In *Tomato-From Cultivation to Processing Technology*. IntechOpen.
- Areeshi, M. Y. (2022). Recent advances on organic biofertilizer production from anaerobic fermentation of food waste: Overview. *International Journal of Food Microbiology*, 374, 109719.
- Argerich, C., Troilo, L., Fazzone, M. R., Izquierdo, J., Strassera, M. E., Balcaza, L., & Irribarren, M. J. (2011). Buenas prácticas agrícolas en la cadena de tomate. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, INTA, FAO. Buenos Aires.
- Armenta, B. A. D., García, G. C., Camacho, B. J. R., Apodaca, S. M. Á., Gerardo M., L., & Nava, P. E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- Aslam, M., Leghari, S. K., Khan, A. R., & Hussain, M. A. (2023). Impact of Organic Fertilizers on Growth and Yield of Tomato Plant Under Semi-Arid Climatic Condition of Quetta. *GU Journal of Phytosciences*, 3(2), 88-93.
- Astera, M., & Agrícola. (2010). *El suelo ideal: Un manual para la nueva agricultura*. SoilMinerals.com
- Azcón, B. J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*.
- Baca, U. G. (2010). *Evaluación de proyectos Sexta edición*. McGraw-Hill.
- Barattini, P., & Hepp, C. (2019). Mineralización de materia orgánica en los suelos de la Patagonia. Coyhaique (Chile): Informativo INIA Tamel Aike, (41).
- Barg, V. R. y Queirós, A. U. F. (2012). *Agricultura agroecológica – orgánica en el Uruguay*.
- Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2015). *Handbook of plant nutrition*. CRC press.

- Barrios, D. J. M., Platas, G. L. P., Barrios, D. B., Cruz, R. W. (2023). Enmiendas al suelo y su efecto en el rendimiento del cultivo de jitomate tipo saladette.
- Bhanse, P., Maitreya, A., Patil, A., Yesankar, P., Singh, L., & Qureshi, A. (2022). Agrochemicals: Provenance, environmental fate, and remediation measures. In *Agrochemicals in Soil and Environment: Impacts and Remediation* (pp. 25-59). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial cell factories*, 13, 1-10.
- Bombelli C. E. y Wright E. R. (2006). Tomato fruit quality conservation during post-harvest by application of potassium bicarbonate and its effect on *Botrytis cinerea*. *Ciencias de Investigación Agrícola*, 33 (3): 197-203.
- Borbón, M. C. G. (2022). Negocio Inclusivo en Agricultura Protegida: Intervención del CPI en la Cadena de Valor Social. *Scientia et PRAXIS*, 2(04), 35-65.
- Brechelt, A. (2004). El manejo ecológico de plagas y enfermedades. Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL). Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA). RD.
- Bustos, B. E. E., Solís, O. M., Castro, R. R., Ocaranza, S. E., Tapia, L. L., García, B. L. J., Solís, O. A. (2017). Estudio comparativo del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo diferentes esquemas de fertilización. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(5), 1195-1201.
- Calvente, A. (2007). El concepto moderno de sustentabilidad (pp. 1-3). UAIS-SDS-100-002). Buenos Aires.
- Camacho, C. F., Uribe L. L., Newcomer, Q., Masters, K., & Kinyua, M. (2019). Fitotoxicidad de compost producido con cultivos de microorganismos de montaña y lodos de biodigestor. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), 75-84.

- Cambrón, C. J. M., Rodríguez, M. J., Valencia, L. J. B., Alcasio, R. S., García, Á. C. D. J., López, B. J. A., & Ochoa, M. D. L. (2019). First report of Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) in Michoacan, Mexico. *Revista mexicana de fitopatología*, 37(1), 185-192.
- Campo, M. A. D. P., Acosta, S. R. L., Morales, V. S., & Prado, F. A. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (mm) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 79-87.
- Canales, A. J. E., Borrego, E. F., Narvaez, O. W. A., González, M. S., & Benavides, M. A. (2021). Impacto de diferentes fertilizantes en la solución del suelo y el crecimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (26), 105-117.
- Cano, H. M., Bennet, E. A., Silva, G. E., Robles, G. S., Sainos, A. U., & Castorena, G. H. (2016). Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia*, 50(4), 471-479.
- Cantuña, N. (2013). Detección e identificación del nematodo formador de agallas *Meloidogyne spp.* en suelos agrícolas destinados al cultivo de *Solanum lycopersicum* mediante la técnica PCR. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Quito, Ecuador.
- Capulin, G. J., Mohedano, C. L., Sandoval, E. M., Capulin, V. J. C. (2011). Estiércol bovino líquido y fertilizantes inorgánicos en el rendimiento de jitomate en un sistema hidropónico. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(2), 105-114.
- Castellanos, J. Z., Ojodeagua, J. L., Vargas, T. P., & Muñoz, R. J. J. (2004). Water and nutrient use of greenhouse tomatoes grown in "tezontle" media and in soil in central Mexico. In VII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Production, Pest Management and Global Competition 659 (pp. 565-568).
- Castellanos, J. Z. (2009). Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri.
- Castro, B. L., & González, A. J. (2021). Factores relacionados con la activación líquida de microorganismos de montaña (MM). *Agronomía Costarricense*, 45(1), 81-92.

- Cecon, E. (2008). La revolución verde: tragedia en dos actos. *Ciencias* núm. 91, julio-septiembre, pp. 20-29.
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). (2020). Análisis de la producción y consumo de hortalizas. Cámara de Diputados LXIV Legislatura.
- Cerisola, C. (2015). Fertilidad química. UNLP: La Plata, Argentina, 1-44.
- Cerón, R. L. E., & Ancízar, A. G. F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295.
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. C. (1991). *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. Trillas, México.
- Chaudhary, P., Singh, S., Chaudhary, A., Sharma, A., & Kumar, G. (2022). Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 13, 930340.
- Chávez, D. I. F., Zelaya, M. L. X., Cruz C, C. I., Rojas, A., E., Ruíz, R. S., & Santos, V. S. D. L. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agrobiotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1423-1436.
- Choi, H. S. (2020). Effects of organic liquid fertilizers on biological activities and fruit productivity in open-field cherry tomato. *Bragantia*, 79, 447-457.
- Costa, J. M. y Heuvelink, E. 2018. *The Global Tomato Industry*. CAB International. Tomatoes 2nd edition.
- Cruz, B. R. M., González, G. J., y Sánchez, C. P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 6-15.

- da Silva, M. I. C., Silva, D. M. R., Aires, E. S., Júnior, F. G. B. F. F., Vargens, F. N., dos Santos, V. A. Á., & Rodrigues, J. D. (2024). Effect of pre-harvest application of *Bacillus subtilis* on the shelf life of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*, 337, 113516.
- Davies, J. N., Hobson, G. E., & McGlasson, W. B. (1981). The constituents of tomato fruit—the influence of environment, nutrition, and genotype. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 15(3), 205-280.
- Daza, T. M. C., Ladino, T. G. S., & Urrutia, C. N. (2018). Beneficios agronómicos y ambientales de fuentes de fertilizantes nitrogenados en *Ocimum basilicum* L. *Dyna*, 85(206), 294-303.
- Díaz, E. E. E. (2021). Producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* L.) mediante manejo agroecológico y microorganismos promotores del crecimiento. Tesis de Maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14.
- Enciclopedia de los municipios. (2017). Revisado el 11 de mayo del 2024 en: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/tlaxcala/mpios/29039a.htm>
- Escalona, V., Alvarado, P., Monardes, H., Urbina, C., & Martín, A. (2009). Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Nodo Hortícola VI Región*, 60.
- Escobar, H. & Lee, R. (2009). Manual de producción de tomate bajo invernadero. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia.
- Espinosa, P. B., Moreno, R. A., Cano, R. P., Álvarez, R. V. D. P., Sáenz, M. J., Sánchez, G. H., & González, R. G. (2017). Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afroditá en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 169-178.
- Fageria, N. K. (2009). The use of nutrients in crop plants. CRC press.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2017). Manual técnico. Buenas prácticas agrícolas-BPA en la producción de tomate bajo condiciones protegidas.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2021). Hacia una agricultura sostenible y resiliente en América Latina y el Caribe: Análisis de siete trayectorias de transformación exitosas.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2023). Glosario de términos fitosanitarios. NIMF 5. Roma.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y CIRAD (Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo). (2021). Frutas y hortalizas – Oportunidades y desafíos para la agricultura sostenible a pequeña escala. Roma.
- FAOSTAT. 2020. Cultivos y productos de ganadería / Producción Revisado el 22 de septiembre del 2024 en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> 22/09/2024.
- Fertilab. 2019. NTF-19-001 Soluciones nutritivas para Tomate.
- FiBL (The Research Institute of Organic Agriculture FiBL). 2024. Based on information from the private sector, certifiers, and governments. Consultado el 25 de julio de 2024. <https://statistics.fibl.org/visualisation.html>
- Funes, P. I., Salomón, M. V., Martín, J. N., Uliarte, E. M., Hidalgo, A. (2022). Efecto de Bioles en el desarrollo de tomate *Solanum lycopersicum* L. y lechuga *Lactuca sativa*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, 54(2), 48-60.
- Gallegos. T., Acosta. I. Samaniego, J. J. (2022). Preparación de biol a partir de residuos orgánicos. Revista RedBioLAC, 6(1), 51-55.
- García, H. J. (2008). Evaluación económica, financiera y social; Cuáles son sus diferencias?. Equilibrio económico, 4(1), 77-82.

- García, C. J. M., Castro, P. C. A., & Moreno, M. G. M. (2021). Estudio de la fertilización química y orgánica y su efecto en el cultivo de Maíz (*Zea mays*), en una comuna. Alfa (El Alto), 5(14), 145-152.
- García, M. S., García, G. V., & León, M. J. M. (2021). Current Overview of Agricultural Biostimulants. Tópicos de Herramientas Biotecnológicas para el Desarrollo Agrícola, 14.
- García, M. A., Barrios, D. J. M., Barrios, D. B., Medina, E. J., & Vázquez, C. F. (2023). Monitoreo del estado nutricional del cultivo de jitomate en invernadero. VIII Congreso Nacional y I Congreso Internacional de riego, drenaje y biosistemas. Coahuila. México.
- Gaspar, L. (2010). Nutrición del cultivo de tomate para la industria. Agro Estrategias Consultores. Argentina.
- Gastelum, O. D. A. (2017). Inoculación de micorrizas en jitomate, en dos sistemas hidropónicos de producción, con composta. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Chapingo.
- Gent, M. P. N. (2002). Growth and composition of salad greens as affected by organic compared to nitrate fertilizer and by environment in high tunnels. Journal of plant Nutrition, 25(5), 981-998.
- Gliessman, S. 2002. Agroecología: Procesos agroecológicos en agricultura sostenible LITOCAT, Turrialba, Costa Rica.
- Gliessman, S. R., Rosado, M. F. J. Guadarrama, Z. C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V. E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C., y Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. Ecosistemas. P.p. 14-16.
- Gobierno de México. (2019). Producción de jitomate en invernadero. Revisado el 16 de mayo del 2024 en: <https://www.gob.mx/agricultura/cdmx/es/articulos /produccion-de-jitomate-en-invernadero?idiom=es>.

- Gómez, U. A. A., & Morales, R. K. J. (2020). Manejo integrado de cultivos (MIC) de tomate, bajo dos sistemas de producción agrícola (agroecológico y con productos químicos). Tesis de Licenciatura. Tecnológico de Antioquia.
- González, S. U., Gallegos, R. M. Á., Preciado, R. P., García, C. M., Rodríguez, H. M. G., García, H. J. L., & Guzmán, S. T. L. (2021). Efecto de fuentes de nutrición orgánicas e inorgánicas mezcladas con biofertilizantes en la producción y calidad de frutos de melón. *Terra Latinoamericana*, 39.
- González, F. J. A., Lozano, C. C. J., Preciado R. P., Troyo D. E., Rojas, D. A., & Rodríguez, O. J. C. (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.
- Google Earth. (2024). San Cosme Xalostoc, Tlaxcala, Mexico. Revisado el 25 de julio del 2024 en <https://earth.google.com/web/search/Xalostoc,+Tlax./@19.41776583,-98.04921002,2471.82815842a,163.64255467d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCRXvTu3UXDJAERLvTu3UXDLAGfUnS7QOMERAIvkhkmp6KU3AQgIIATIpCicKJQo hMUIcQVVZVlc5UjKxU0laeW9BVXIFSWVnMHhOekxXSmhoIAE6AwoBMEI CCABKCAimjtuGAxAB>
- Goreau, T.J., Larson, R.W., y Campe, J. 2015. Geotherapy: innovative methods of soil fertility restoration, carbon sequestration, and reversing CO₂ increase. CPC. Estados Unidos. 590 p.
- Gorini, F. (2018). Guía completa del cultivo del tomate. Parkstone International.
- Haifa. (2014). Recomendaciones nutricionales para tomate en campo abierto, acolchado o túnel e invernadero. Revisado el 22 de mayo del 2024 en https://www.haifa-group.com/files/Languages/Spanish/Tomate_2014.pdf
- Hernández, D. M. I., Chailloux, L. M., Moreno, P. V., Igarza, S. A., & Ojeda, V. A. (2014). Niveles referenciales de nutrientes en la solución del suelo para el diagnóstico nutricional en el cultivo protegido del tomate. *Idesia (Arica)*, 32(2), 79-88.

- Herrera, A. L. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra latinoamericana*, 17(3), 221-229.
- Herrera, O. F., Vargas, O. Y., & Marin, C. P. (2000). La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del tomate. *Scientia gerundensis*, 5-12.
- Higa, T. (1991). Effective microorganisms: A biotechnology for mankind. In *Proceedings of the first international conference on Kyusei nature farming*. US Department of Agriculture, Washington, DC, USA (pp. 8-14).
- Higa, T., & Parr, J. F. (1994). Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment (Vol. 1, pp. 16-16). Atami: International Nature Farming Research Center.
- Higa, T., & Wididana, G. N. (1991). The concept and theories of effective microorganisms. In *Proceedings of the first international conference on Kyusei nature farming*. US Department of Agriculture, Washington, DC, USA (pp. 118-124).
- Huang, J., Pray, C., & Rozelle, S. (2002). Enhancing the crops to feed the poor. *Nature*, 418, 678-684.
- Ibarra., V, I. P. (2019). Agricultura regenerativa y el problema de la sustentabilidad: Aportes para una discusión. *Textual*, (74), 51-85.
- ICADEX (Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México). (2022). Revisado el 15 de mayo del 2024 en: <https://icamex.edomex.gob.mx/jitomate>.
- IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements). 2024. What is Organic Agriculture?. Consultado el 25 de julio de 2024. <https://www.ifoam.bio/es/our-library/organic-basics>
- ILPES (Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social). (2006). Guía para la presentación de proyectos. Siglo XXI editores. Vigésimoséptima edición. México.

- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria). (2008). Tecnologías innovativas apropiadas a la conservación in situ de la agrobiodiversidad. Producción y uso del biol. Lima. Peru.
- Iocoli, G. A., & Gómez, M. A. (2015). Utilización de digerido anaeróbico de purín de cerdo: actividad biológica del suelo y desarrollo vegetal. *Ciencia del suelo*, 33(1), 0-0.
- IPES (IPES-Promoción del Desarrollo Sostenible) y FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2010). Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana. P.p. 24-66.
- Jaramillo, N. J., Rodríguez, V. P., Guzmán, M., & Zapata, M. (2006). El cultivo de tomate bajo invernadero. CORPOICA. Antioquia, Colombia.
- Jaramillo N, J. E., Rodríguez, V. P., & Aguilar, A. P. A. (2012). Factores climáticos y su influencia en la producción de tomate. En *Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas*. CORPOICA. Bogotá, Colombia.
- Jorge, M. P. A., Ortiz, D. L. F., Calle, M. J. L., Téllez, M. L. A., Césare, C. M. F., & Visitación F. L. (2018). Transformación del nitrógeno durante el compostaje de bosta de caballo. *Producción+ Limpia*, 13(2), 77-88.
- Kalra, Y. (Ed.). (1998). *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC press.
- Knapp, S., Peralta, I.E. (2016). The Tomato (*Solanum lycopersicum L., Solanaceae*) and Its Botanical Relatives. In: Causse, M., Giovannoni, J., Bouzayen, M., Zouine, M. (eds) *The Tomato Genome. Compendium of Plant Genomes*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lara, H. A. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra latinoamericana*, 17(3), 221-229.
- Larín. M.A., Díaz. L.A., de Serrano. R.F. 2018. Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum*). CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”). El Salvador.

- Larios, B. A. F. (2021). Producción de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con manejo regenerativo 3M (minerales, materia orgánica y microorganismos) en un suelo de Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Larry, R. & L. Joanne (2007). Genetic resources of tomato, in: Razdan, M.K. & A.K. Mattoo (eds.), *Genetic Improvement of Solanaceous Crops*, Vol. 2. Tomato, Science Publishers, Enfield, New Hampshire.
- Latorre, B. (2004). *Enfermedades de las plantas cultivadas*. Ediciones UC.
- Lehman, R.M., Cambardella, C., Stott, D.E., Acosta, M. V., Manter, D.K., Buyer, J. S., Maul, J.D., Smith, J.L., Collins, H.P., Halvorson, J.J., Kremer, R.J., Lundgren, J.G., Ducey, T.F., Jin, V.L., y Karlen, D.L. 2015. Understanding and enhancing soil biological health: the solution for reversing soil degradation. *Sustainability*, 7, 988-1027.
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel, K. I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553.
- Llorens, E., Gallardo, A., García, A. P., Lapeña, L., & Molina, M. J. (2010, August). Response of tomato crops (*Solanum lycopersicum* 'Montecarlo') to sewage sludge-based compost fertilization. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 933 (pp. 123-130).
- Lobos, R. P., Vega, C. B., & Carrasco, J. J. (2022). Producción de hortalizas bajo invernadero. En *Manual de buenas prácticas y lecciones aprendidas para adaptación al cambio climático. Para la agricultura de secano de la Región de O'Higgins*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile.
- López, M. L. M. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum**. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José. Costa Rica.
- LPO (Ley de Producción Orgánica). 2006. Publicada en DOF el 07-02-2006.

- Lucas, P. J., Guevara, F. T., Muñoz, R. M. Y., Gómez, M. I. T., & Morales, H. A. M. (2021). Preparación de Bioles orgánicos. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 9(2), 124-136.
- Luna, F. M. A., & Mesa, R. J. R. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista científica Agroecosistemas [seriada en línea]*, 4 (2), 31-40.
- Mamani de Marchese, A., & Filippone, M. P. (2018). Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 38(1), 9-21.
- Márquez, H. C., Cano, R. P., García, H. J. L., Rodríguez, D. N., Preciado, R. P., Moreno, R. A., & Lázaro, E. D. L. C. (2010). Agricultura orgánica: el caso de México. *Agricultura Orgánica*, 1.
- Mejía, B. F. D. L. Á., Sánchez, D. C. F., Moreno, P. E. D. C., & González, M. L. (2023). Esquejes enraizados, una alternativa para la producción de jitomate bajo invernadero en ciclos cortos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(3), 389-399.
- Mendoza, M. (2005). Composición nutricional, características sensoriales, y vida de anaquel del tomate (*Lycopersicum esculentum*) cultivado en sustrato orgánico, hidropónico y convencional. Tesis Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Menguel, K. y Kirkby, E. A. (2000). Principios de nutrición vegetal. Instituto Internacional de la Potasa. 4ta Edición. 1ra Edición en Español. Argentina. P.p. 11.
- NMX (Norma Mexicana). (1997). Norma Mexicana. NMX-FF-031-1997. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-Hortalizas frescas-Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill)-Especificaciones.
- NMX (Norma Mexicana). (2013). NMX-E-255-CNCP-2013. Invernaderos de cubiertas plásticas-diseño y construcción-especificaciones.
- NMX (Norma Mexicana). (2018). NMX-AA-180-SCFI-2018. Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos

sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales.

NOM (Norma Oficial Mexicana). (2000). NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis.

Molina, E. (2002). Fertilización foliar de cultivos frutícolas. En Fertilización Foliar, Principios y Aplicaciones. Universidad de Costa Rica. P.p. 82.

Monge, P. J. E. (2015). Evaluación de 60 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. InterSedes, 16(33), 83-122.

Monsalve, C. O. I., Henao, T. M. C., & Gutiérrez, D. J. S. (2021). Caracterización de materiales con uso potencial como sustratos en sistemas de cultivo sin suelo. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 22(1), 1-23.

Montaño, M. I. E., Valenzuela, P. I. N., & Villavicencio, L. K. V. (2021). Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003-2017. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 12(7), 1185-1197.

Morales, C. J. A., Morales, C. A. (2009). Proyectos de inversión. Evaluación y formulación. Primera edición. McGraw-Hill. México. D.F.

Moreno, G. T. (2018). Evaluación de la solución del suelo en relación a la adición de materia orgánica y su efecto en tomate. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Muñoz, R. J. J. (2004). Manejo del Cultivo del Tomate en Invernadero. P.p. 231-256. En J.Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2ª Ed. INTAGRI. México.

Narváez, O. W. A., Benavides, M. A., Robledo, T. V., & Mendoza, V. R. (2013). Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 4(1), 129-141.

- Nephali, L., Piater, L. A., Dubery, I. A., Patterson, V., Huyser, J., Burgess, K., & Tugizimana, F. (2020). Biostimulants for plant growth and mitigation of abiotic stresses: A metabolomics perspective. *Metabolites*, 10(12), 505.
- Nosheen, S., Ajmal, I., & Song, Y. (2021). Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. *Sustainability*, 13(4), 1868.
- Ocampo, R. A., Hernández, G. L. H., Fernández, V. D., Fernández, V. D., & Cervantes, B. R. (2014). Análisis estático de los esfuerzos y deformaciones de la estructura de un Invernadero tipo Ventila Cenital ubicado en Veracruz. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 10-16.
- Odum, E. P. (1983). *Basic ecology*.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (2017). "Tomato (*Solanum lycopersicum*)", in *Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment, Volume 7: OECD Consensus Documents*, OECD Publishing, Paris.
- Ojodeagua, A. J. L., Castellanos, R. J. Z., Muñoz, R. J. J., Alcántar, G. G., Tijerina, C. L., Vargas, T. P., & Enríquez, R. S. (2008). Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 367-367.
- Ortega, G. P., Infante, J. Z. T., & Ortiz, P. C. F. (2021). Agricultura orgánica y comercio internacional para el desarrollo sostenible: el sector frutícola orgánico en Michoacán. *Repositorio de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad*, 15.
- Otlewska, A., Migliore, M., Dybka-Stępień, K., Manfredini, A., Struszczyk, Ś. K., Napoli, R., & Pinzari, F. (2020). When salt meddles between plant, soil, and microorganisms. *Frontiers in plant science*, 11, 553087.
- Passam, H. C., Karapanos, I. C., Bebeli, P. J., & Savvas, D. (2007). A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European journal of plant science and biotechnology*, 1(1), 1-21.

- Peralta, I. E., Knapp, S., & Spooner, D. M. (2005). New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: *Solanaceae*) from Northern Peru. *Systematic Botany*, 30(2), 424-434.
- Peralta, I.E., D.M. Spooner & S. Knapp (2008), *Taxonomy of Wild Tomatoes and Their Relatives (Solanum sect. Lycopersicoides, sect. Juglandifolia, sect. Lycopersicon; Solanaceae)*, *Systematic Botany Monographs*, The American Society of Plant Taxonomists, Vol. 84, pp. 186.
- Peralta, I. E., & Spooner, D. M. (2007). History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). *Genetic improvement of solanaceous crops*, 2, 1-27.
- Phytomonitor. 2020. Revisado el 01 de mayo del 2024 en <https://phytomonitor.com.mx/analisis-nutricion/>
- Polese, J. M. (2005). *Cultivo de tomates*. Omega. Barcelona
- Preciado, R. P., Fortis, H. M., García, H. J. L., Rueda, P. E. O., Esparza, R. J. R., Lara H. A., Segura, C. M. Á., & Orozco, V. J. A. (2011). Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36(9), 689-693.
- Ramos, A. D., & Terry, A. E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*, 35(4), 52-59.
- Raviv, M., Lieth, J. H., Bar, T. A., & Silber, A. (2019). *Soilless culture: Theory and practice*. Second Edition. Elsevier. U.K.
- Restrepo, R. J. 2007. *Manual Práctico El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas*. SIMAS. Primera Edición. Managua.
- Restrepo, C. S. P., Pineda, M. E. C., & Ríos, O. L. A. (2017). Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(2), 335-351.

- Restrepo, R. J. (2020). Mierda a la carta Un nuevo ABC de la agricultura orgánica. Cali Colombia. P.p. 15, 125-125, 188-189, 207.
- Rodríguez, M., & Flores, V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. En Ferti-Riego: Tecnologías y Programación en Agroplasticultura. Almería. España.
- Rodríguez, N., Torres, T., & Lusdina, K. (2014). Producción de Microorganismos de Montaña para el Desarrollo de una Agricultura Orgánica. Dirección General de Investigación. Universidad Peruana UNION, 1.
- Rose, D. C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M., & Chivers, C. A. (2021). Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. Land use policy, 100, 104933.
- Rudolph, R., Lark, R. & Jacobsen, K. (2022). Salinidad del Suelo en la Producción de Túnel Alto. CCD-FS-24S. Lexington, KY: Center for Crop Diversification, University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment.
- Rusique, M. C., Navarrete, A. D. P. V., Monguí, I. M. P., Estrada, M. S. S., Díaz, S. P., y Buitrago, R. R. B. (2021). Experiencia AGROSAVIA en Tomate (*Solanum lycopersicum*). Evaluación del efecto de la inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno sobre la producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones de invernadero. Colombia.
- Sadeghian, S., González, H., & Arias, E. (2015). Lixiviación de nutrientes en suelos de la zona cafetera: Prácticas que ayudan a reducirla. Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé. Colombia.
- Sainju, U. M., Dris, R., & Singh, B. (2003). Mineral nutrition of tomato. Food Agric. Environ, 1(2), 176-183.
- Salas, P. L., González, F.J.A., García, C.M., Sifuentes, I. E., Parra, T. S. y Preciado, R.P. (2016). Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. Nova Scientia. 8(17): 310-325.

- Samaniego, C. E., Quezada, M. M. R., De La Rosa, I. M., Munguía, L. J., Benavides, M. A., & Ibarra, J. L. (2002). Producción de plántulas de tomate y pimiento con cubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. *Agrociencia*, 36(3), 305-318.
- Sánchez, L. D. B., Gómez, V. R. M., Garrido, R. M. F., & Bonilla, B. R. R. (2012). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(7), 1401-1415.
- Sapag, C. N., Sapag, C. R., Sapag, P. J. M. (2014). *Preparación y Evaluación de proyectos*. Ed. Mc Graw Hill.
- Sarandón, S.J. & Flores C. C. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Editorial de la Universidad de la Plata. Buenos Aires, Argentina. P.p. 17, 27.
- Sarandón, S. J. (2020). *Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable*. Libros de Cátedra.
- Serrano, C. L., Aranda, O. S., Balderas, R. K. A., Juárez, A. M., Leyva, E., Trujillo, R. M. A., & Galindo, E. (2022). A case study of a profitable mid-tech greenhouse for the sustainable production of tomato, using a biofertilizer and a biofungicide. *Electronic Journal of Biotechnology*, 59, 13-24.
- Sharma, S. (2024). Organic Agriculture for Sustainable Food Systems: A Comprehensive Review of Benefits and Constraints . *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(8), 1476–1481.
- Sherwood, S. y Uphoff, N. 2000. Soil health: research, practice and policy for a more regenerative agriculture. *Applied Soil Ecology*. 15 (2000) 85-97.
- Shi, X., An, X., Zhao, Q., Liu, H., Xia, L., Sun, X., & Guo, Y. 2019. State of the art internet of things in protected agriculture. *Sensors*, MDPI 19 (8): 1-24.

- SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta). 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción agrícola. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). Panorama Agroalimentario 2021. Ciudad de México. P.p. 92-93. Revisado el 16 de mayo del 2024 en: https://nube.siap.gob.mx/panorama_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Revisado el 22 de agosto del 2024 en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Silva, A. G. E. (2021). Híbridos de jitomate sometidos a periodos de alta densidad de población en condiciones de invernadero. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo.
- Simón, Z. J. I. (2019). Microbiótica y remineralización de suelos en manos campesinas. Gaia. México.
- SNIIM (Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados). (2024). Revisado el 12 de mayo del 2024 en <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>
- SQM. (2006). Crop Kit Guía de Manejo Nutrición Vegetal de Especialidad Tomate. Revisado el 22 de mayo del 2024 en http://www.sqm-vitas.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Tomato_L-ES.pdf
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and soil*, 15, 134-154.
- Steiner, A. A. (1966). The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant and Soil*, 24, 454-466.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. Proc. 6th Int. Cong. on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, Holanda. pp. 633-649.

- Stoleru, V., Inculet, S. C., Mihalache, G., Cojocar, A., Teliban, G. C., & Caruso, G. (2020). Yield and nutritional response of greenhouse grown tomato cultivars to sustainable fertilization and irrigation management. *Plants*, 9(8), 1053.
- Terry, A. E., Ruiz, P. J., & Carrillo, S. Y. (2018). Efecto de diferentes manejos nutricionales sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2).
- Tesfay, T., Gebremariam, M., Gebretsadik, K., Hagazi, M., & Girmay, S. (2018). Tomato yield and economic performance under vermicompost and mineral fertilizer applications. *The Open Agriculture Journal*, 12(1).
- Urbano, T. P. 2011. El calcio y el magnesio en la fertilización de los cultivos. *Vida Rural*. No 332 Año XVIII. Madrid, España. p.p. 58-61.
- Vargas, C. J. M., Palacios R. M. I., Aguilar, A. J., Ocampo, L. J. G., Kreimer, P., & Ortiz, M. G. (2018). Technological innovation in a case of protected agriculture in Mexico. *Revista de Geografía Agrícola*, 61 (2): 9-38.
- Vázquez A., J. M. P. y S. G. Ramírez R. 2020. Producción orgánica de plántulas de jitomate. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Zacatepec. Zacatepec, Morelos, México. Folleto técnico No. 113. 17 p.
- Velasco H. E., Nieto Á. R. y Navarro L. E. (2011). Cultivo de tomate en hidroponía e invernadero (3a ed.). México. Mundi-Prensa.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil*, 255, 571-586.
- Villalva, Q. S. (2005). Plagas y enfermedades de jardines. Ediciones Mundi-Prensa.
- Villarreal, R. M., Estrada, R. S. G., Enciso, T. O., & Bojorquez, A. D. A. (2002). Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego. *Terra Latinoamericana*, 20(3), 311-320.

- Vilmorin-Mikado. (2021). Ficha técnica jitomate Variedad Reserva.
- Waguespack, E., Bush, E., & Fontenot, K. (2022). The effect of organic biostimulants on beneficial soil microorganism activity. *Open Journal of Ecology*, 12(8), 499-512.
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, 34(1), 1-20.
- Willer, H., Trávníček, J., & Schlatter, S. (2024). *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2024*. Research Institute of Organic Agriculture FiBL & IFOAM – Organics International.
- Yanar, D., Gebologlu, N., Yanar, Y., Aydin, M., & Cakmak, P. (2011). Effect of different organic fertilizers on yield and fruit quality of indeterminate tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Sci. Res. Essays*, 6(17): 3623–3628.
- Zamora, O. D., Rodríguez, F. P., Ferrer, D. A., Fung, B. Y., Issac, A. E., A, K. G. (2020). Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo riego con agua magnetizada en casa de cultivo protegido. Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba.
- Zeballos, M. F. (2017). Caracterización de microorganismos de montaña (MM) en biofertilizantes artesanales. Tesis Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras.
- Zermeño, G. A., Kua, P. P. O., Munguía, L. J. P., Ramírez, R. H., & Cepeda, Z. M. (2021). Comparación de cubiertas de invernaderos en relación con crecimiento y rendimiento de tomate. *Agrociencia*, 55(6), 523-538.

Anexos

Anexo 1. Resultados del análisis de fertilidad de suelo por parte del laboratorio Phytomonitor.



ANALISIS DE FERTILIDAD

Fecha de emisión: 02/05/2023 Folio Informe: 009646

Datos del Cliente				
Cliente:	CRISTIAN CASTRO DIAZ		Zona de Muestreo:	SAN COSME XALOSTOC
Solicitado por:	CRISTIAN CASTRO DIAZ	cristian.cd@outlook.com	Ubicación:	SAN COSME XALOSTOC Huamantla, Tlaxcala
Folio Servicio:	23041011		Fecha Recepción:	24/04/2023

Identificación de la muestra				
Folio de Muestra	NT-23041011-3447		Fecha Toma de Muestra	22/04/2023
Tipo de Muestra	SUELO		LOTE	EXPERIMENTO NUTRICION
CULTIVO	TOMATE		PROFUNDIDAD (cm)	0-30

Resultados				
Parametros Fisicos	Resultado			Niveles
pH 1:1(H ₂ O)	7.76			6-7.5
Conductividad Eléctrica (mS/cm)	0.91			1.5-2.5 mS/cm
Materia Orgánica (%), Mét. Walkley-Black	0.94			
Textura (Triangulo de Texturas)	Arena-Francosa			
Arcilla (%)	7.00			
Arena (%)	81.00			
Limo (%)	12.00			
Aniones (-)	ppm			Nivel
Nitrogeno Nitrico N-NO ₃ (Brusina)	20.00			20-40 ppm
Fosforo de Fosfatos P-PO ₄ (Olsen)	38.40			20-30 ppm
Azufre de Sulfatos S-SO ₄ ²⁻ (Turbidimetrico)	20.00			60-100 ppm
Cationes (+)	ppm	Meq/100 gr.	% Base Saturada	Niveles
Sodio Na ⁺ (Ac.NH4 pH 7.0)	240.00	1.04	10.81	<150 ppm
Potasio K ⁺ (Ac.NH4 pH 7.0)	430.00	1.10	11.39	100-250 ppm
Calcio Ca ²⁺ (Ac.NH4 pH 7.0)	1,040.00	5.20	53.87	1500-3500 ppm
Magnesio Mg ²⁺ (Ac.NH4 pH 7.0)	290.00	2.31	23.92	200-500 ppm
Capacidad de Intercambio Cationico		9.65		
Microelementos	ppm			Nivel
Hierro Fe ²⁺ (DTPA)	11.30			5-30 ppm
Zinc Zn ²⁺ (DTPA)	3.00			3-10 ppm
Cobre Cu ²⁺ (DTPA)	1.20			0.8-3 ppm
Manganeso Mn ⁺ (DTPA)	5.20			5-15 ppm
Boro B ⁻³ (Azometina-H)	0.67			0.3-1.5 ppm

Nota: Los resultados emitidos únicamente avalan la(s) muestra(s) analizada(s) en el presente laboratorio. Se prohíbe reproducir total o parcialmente la información sin previa autorización.

Q.F.B. EMMANUEL CAZAREZ QUIROZ
Responsable de Laboratorio



Anexo 2. Resultados del análisis de fertilidad de la composta utilizada como enmienda por parte del laboratorio Phytomonitor.



ANALISIS DE FERTILIZANTE COMPOSTA

PHYTOMONITOR SA DE CV

Fecha de emisión: 14/06/2023 Folio Informe: 013714

Datos del Cliente				
Cliente:	CRISTIAN CASTRO DIAZ		Zona de Muestreo:	SAN COSME XALOSTOC
Solicitado por:	CRISTIAN CASTRO DIAZ	cristian.cd@outlook.com	Ubicación:	SAN COSME XALOSTOC Huamantla, Tlaxcala
Folio Servicio:	23060402		Fecha Recepción:	08/06/2023

Identificación de la muestra				
Folio de Muestra	NT-23060402-1250		Fecha Toma de Muestra	06/06/2023
Tipo de Muestra	COMPOSTA		LOTE	COMPOSTA EXPERIMENTO XALOSTOC

Resultados			
Parametros Fisicos	Resultado		NIVEL DE NMX-FF-109-SCFI-2008
pH (Relación 1:5) mls.	8.31		5.5 - 8.5
Conductividad. Eléctrica (Relación 1:5) mS/cm	2.82		<= 4.0
Densidad (gr/cm ³)	0.90		.40 - 0.90 gr/ml
Humedad (%) (método Gravimétrico)	27.81		20 - 50 %
Cenizas (%)	81.81		
Matena Orgánica (%) (Calcinación)	18.19		20 - 50 %
Carbono (%)	10.55		
Relación Carbono/Nitrógeno	5.25		10 - 30
Aniones (-)	ppm	%	NIVEL DE NMX-FF-109-SCFI-2008
Nitratos NO ₃ ⁻ Tec. Brusina (colorimétrica)	2,409.10	0.24	
Fosforo de Fosfatos P-PO ₄ ⁻ M. Morgan Colorimétrico)	1,200.00	0.12	0.40 - 4.0 %
Pentóxido de fósforo P ₂ O ₅	2,749.20	0.27	
Sulfatos SO ₄ ⁻²	1,420.00	0.14	
Azufre de Sulfatos S-SO ₄ ⁻² M. turbidimétrico.	473.33	0.05	0.10 - 0.50 %
Cloruros Cl ⁻ Método Mohr	2,127.00	0.21	0.30 - 1.00 %
Cationes (+)	ppm	%	NIVEL DE NMX-FF-109-SCFI-2008
Sodio Na ⁺ (Dig. A. Atómica L. C. H.)	304.00	0.03	0.10 - 0.40 %
Potasio K ⁺ (Dig. A. Atómica L. C. H.)	8,500.00	0.85	
Oxido de Potasio K ₂ O	10,239.10	1.02	1.20 - 1.80 ppm
Calcio Ca ⁺² (Dig. A. Atómica L. C. H.)	4,800.00	0.48	1.60 - 6.50 %
Oxido de Calcio CaO	6,720.00	0.67	
Magnesio Mg ⁻² (Dig. A. Atómica L. C. H.)	2,300.00	0.23	0.30 - 0.80 %
Oxido de Magnesio MgO	3,811.10	0.38	
Amonio NH ₄ ⁺ Soln. EDTA/Fenol (colorimétrico)	128.50	0.01	
Microelementos	ppm	Nivel	
Hierro Fe ⁺² (Dig. A. Atómica L. C. H.)	4,650.00	3000 - 20000 ppm	
Zinc Zn ⁺² (Dig. A. Atómica L. C. H.)	49.00	100 - 575 ppm	
Cobre Cu ⁺² (Dig. A. Atómica L. C. H.)	9.00	30 - 300 ppm	

Nota: Los resultados emitidos únicamente avalan la(s) muestra(s) analizada(s) en el presente laboratorio. Se prohíbe reproducir total o parcialmente la información sin previa autorización.

BIOL. ATHZIRI NOEMI BELTRÁN GAYTÁN
 Responsable de Laboratorio



Fecha de emisión: 14/06/2023 Folio Informe: 013714

Datos del Cliente			
Cliente:	CRISTIAN CASTRO DIAZ	Zona de Muestreo:	SAN COSME XALOSTOC
Solicitado por:	CRISTIAN CASTRO DIAZ <small>cristian.cd@outlook.com</small>	Ubicación:	SAN COSME XALOSTOC Huamantla, Tlaxcala
Folio Servicio:	23060402	Fecha Recepción:	08/06/2023
Manganeso Mn ⁺ (Dig. A. Atómica L. C. H.)	191.00		260 - 500 ppm
(Digestión) Abs. Atómica Lamp. Cat. Hueco			
Boro B ⁺ Método Azomethine-H (colorimétrico)	1.00		60 - 150 ppm
Nitrogeno	ppm	%	NIVEL DE NMX-FF-109-SCFI-2008
Nitrogeno Nitrico N-NO ₃ ⁻	544.00	0.05	
Nitrogeno Amoniacal N-NH ₄ ⁺	100.00	0.01	0.10 - 0.40 %
Nitrógeno Ureico N-NH ₂ ⁺	19,500.00	1.95	
Nitrógeno Total (titulométrico) Método Microkjeldahl		2.01	1.0 - 4.0 %

Nota: Los resultados emitidos únicamente avalan la(s) muestra(s) analizada(s) en el presente laboratorio. Se prohíbe reproducir total o parcialmente la información sin previa autorización.


BIOL. ATHZIRI NOEMÍ BELTRÁN GAYTÁN
Responsable de Laboratorio



Anexo 3. Resultados del análisis de fertilidad de los bioles y microorganismos de montaña líquidos por parte del laboratorio del Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas de la BUAP.



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
 Instituto de Ciencias
 Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas
 Teléfono: 2295500 ext. 7047 email: adrian.saldana@correo.buap.mx



IDENTIFICACIÓN	PRODUCTO	USO
José Cinco Patron	Bioles	Fertilizante:
Municipio:		Mejorador:
Localidad:		

Fecha	Clave campo	C. Laboratorio	Predio	Edad	Abono orgánico	Variedad	Rendimiento
24/05/23	--	--	--	--	--	--	--
M/D	pH	Ca (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	P (ppm)	S (ppm)	
Biol Ca	4.89	4,009	-----	-----	-----	-----	
Biol MgSO ₄	4.16	-----	5,940	-----	-----	-----	560
Biol K ₂ SO ₄	4.45	-----	-----	5,487	-----	-----	61
Biol roca fosfórica	4.35	-----	-----	-----	5,160	-----	-----
Mic Ca	11.80	11,279	-----	-----	-----	-----	-----
Mic MgSO ₄	2.97	-----	6,980	-----	-----	-----	360
Mic K ₂ SO ₄	3.40	-----	-----	18,215	-----	-----	100
Mic roca fosfórica	3.20	-----	-----	-----	5,750	-----	-----

Responsable Técnico:

Dr. José Adrián
 Saldaña Munive