

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Efecto de tres abonos orgánicos y *Pseudomonas fluorescens*
incorporados al suelo sobre variables agronómicas en el cultivo de tomate
(*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero en Barva,
Heredia.**

Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa.

Jhonson Jesús Mora Mata

Heredia, Costa Rica

Octubre, 2022

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias agrarias de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

.....

Lic. Johanner Rosales Flores

Representante del Decanato de Ciencias de la Tierra y el Mar

.....

PhD. Ramón Molina Bravo

Representante de la Dirección Escuela de Ciencias Agrarias

.....

M.Sc. Julián Rojas Vargas

Tutor de Tesis

.....

M.Sc. Mairon Madríz Martínez

Asesor de Tesis

.....

M.Sc. Alonso Calvo Araya

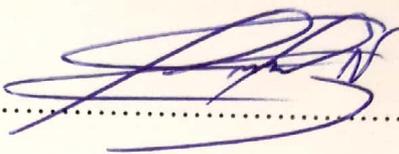
Asesor de Tesis

.....

Bach. Jhonson Jesús Mora Mata

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias agrarias de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



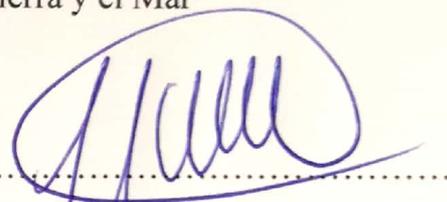
Lic. Johanner Rosales Flores

Representante del Decanato de Ciencias de la Tierra y el Mar



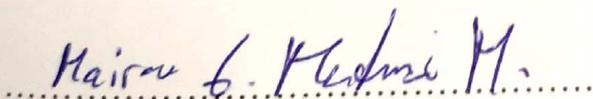
PhD. Ramón Molina Bravo

Representante de la Dirección Escuela de Ciencias Agrarias



M.Sc. Julián Rojas Vargas

Tutor de Tesis



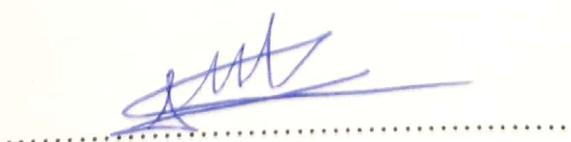
M.Sc. Mairon Madríz Martínez

Asesor de Tesis



M.Sc. Alonso Calvo Araya

Asesor de Tesis



Bach. Jhonson Jesús Mora Mata

Dedicatoria

A mi familia y amigos por los consejos y el apoyo incondicional durante mi formación académica y personal.

Agradecimientos

A la Escuela de Ciencias Agrarias, UNA Campus Sostenible y el programa BIOVERFI por el apoyo con equipo y recursos.

Al laboratorio de Tecnología Poscosecha de la UCR y sus académicos Dr. Maricruz Ramírez, y Dr. Marco Vinicio, por el préstamo del laboratorio, equipo y capacitación que permitió cumplir con uno de los objetivos de la presente investigación.

Al programa FOCAES investigación por el apoyo con recursos durante la ejecución de la tesis.

Al profesor M. Sc. Alejandro Vargas por sus aportes en el desarrollo de los análisis estadísticos.

A mi tutor M. Sc. Julián Rojas y lectores M. Sc. Mairon Madríz y M. Sc. Alonso Calvo por su apoyo, consejos y oportunas observaciones que fueron esenciales para la culminación del presente estudio.

RESUMEN

Este estudio evaluó el efecto de abonos orgánicos y *Pseudomonas fluorescens* incorporados al suelo sobre parámetros de desarrollo, producción y calidad del cultivo de tomate. La investigación se desarrolló bajo condiciones de invernadero en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL), Heredia, Costa Rica. Se evaluó el efecto de diez tratamientos con 8 repeticiones en un diseño completamente al azar (DCA) compuestos por mezclas de suelo andisol en combinación con abonos orgánicos al 20% de lombricompost (FESL), bocashi (Coopebrisas), compost (UNA Campus Sostenible), además, fertilizante inorgánico y una bacteria promotora de crecimiento vegetal (*P. fluorescens* cepa: mog05) obtenida del laboratorio del Dr. Obregón. Se evaluaron variables de desarrollo (altura, número de hojas y número de flores), productividad (número de racimos, número de tomates y peso del fruto) y calidad (°Brix, pH, dureza, pérdida de masa por actividad fisiológica, calibre, pérdida agrícola y contenido nutricional). Las plantas fertilizadas con abonos orgánicos e inoculados con *P. fluorescens* presentaron un mejor desarrollo, productividad, mayor dureza y calibre de fruto en comparación con los tratamientos inorgánicos. Las plantas manejadas con fertilizantes inorgánicos presentaron mayor °Brix y pH más ácido. En conclusión, la fertilización con lombricompost al 20% y la inoculación con *P. fluorescens* aumentó parámetros de desarrollo, rendimiento·ha, dureza del fruto, así como una mayor vida en anaquel, mayor calibre y una baja pérdida agrícola. Por lo tanto, es una alternativa orgánica para favorecer la producción sostenible en el cultivo de tomate.

Palabras clave: Producción sostenible, *Pseudomonas fluorescens*, cultivo de tomate, abonos orgánicos, pérdida y desperdicio de alimentos.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of organic fertilizers and *Pseudomonas fluorescens* incorporated into the soil on development, production and quality parameters of the tomato crop. The research was carried out under greenhouse conditions at the Santa Lucía Experimental Farm (FESL), Heredia, Costa Rica. The effect of ten treatments with 8 repetitions was evaluated in a completely randomized design (DCA) composed of mixtures of andisol soil in combination with organic fertilizers at 20% lombricompost (FESL), bocashi (Coopebrisas), compost (UNA Campus Sostenible), in addition, inorganic fertilizer and a plant growth promoting bacterium (*P. fluorescens* strain: mog05) obtained from the laboratory of Dr. Obregón. Development variables (height, number of leaves and number of flowers), productivity (number of bunches, number of tomatoes and fruit weight) and quality (°Brix, pH, hardness, mass loss due to physiological activity, caliber, agricultural loss and nutritional content). Plants fertilized with organic fertilizers and inoculated with *P. fluorescens* showed better development, productivity, greater hardness and fruit size compared to inorganic treatments. Plants fertilized with inorganic fertilizers appeared higher °Brix and more acidic pH. In conclusion, the fertilization with lombricompost at 20% and the inoculation with *P. fluorescens* improved the development parameters, yield·ha, fruit hardness, as well as a longer shelf life, larger caliber and low agricultural loss. Therefore, it is an organic alternative to promote sustainable production in tomato cultivation.

Keywords: Sustainable production, *Pseudomonas fluorescens*, tomato cultivation, organic fertilizers, food loss and waste.

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 Cultivo de tomate.....	5
3.2 Etapas fenológicas	5
3.3 Requerimientos nutricionales	6
3.4 Fertilización química	6
3.5 Calidad del fruto	7
3.6 Fertilización y calidad	9
3.7 Producción sostenible.....	10
3.7.1 Abono o sustrato orgánico.....	10
3.7.2 Bacterias promotoras de crecimiento vegetal.....	12
3.8 Inoculantes microbianos	13
4. METODOLOGÍA	15
4.1 Localización del estudio	15
4.2 Establecimiento del proyecto en invernadero.....	16
4.3 Descripción de los tratamientos.....	16
4.4 Caracterización química del suelo	18
4.5 Caracterización química de los abonos orgánicos	19

4.6	Aplicación de los tratamientos	20
4.7	Manejo agronómico.....	21
4.8	Variables a evaluar:	22
4.8.1	Variables para determinar parámetros de desarrollo de la planta.....	22
4.8.2	Variables para determinar parámetros de productividad.....	23
4.9	Diseño experimental	23
4.10	Análisis estadístico parámetros de desarrollo y productividad	24
4.11	Procedimiento para determinar la calidad de la cosecha	26
4.11.1	Variables para determinar la calidad de la cosecha.....	26
4.12	Análisis estadístico para la calidad de frutos.....	27
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1	Problemas fitosanitarios	29
5.2	Desarrollo de las plantas.....	31
5.2.1	Altura.....	31
5.2.2	Número de hojas.....	34
5.2.3	Número de flores.....	37
5.3	Productividad.....	42
5.3.1	Número de racimos.....	42
5.3.2	Número de tomates.....	45
5.3.3	Peso de los tomates.....	47
5.4	Calidad de la cosecha	52
5.4.1	Sólidos solubles totales (SST) (°Brix).....	52
5.4.2	Dureza.....	55
5.4.3	pH 57.....	57
5.4.4	Pérdida de masa por actividad fisiológica (PMAF).....	59
5.4.5	Aspecto.....	61
5.4.5.1	Calibre	61
5.4.5.2	Pérdida.....	63
5.4.6	Composición nutricional.....	65

6. CONCLUSIONES 70

7. RECOMENDACIONES 72

8. REFERENCIAS 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Microorganismos productores de fitohormonas y su respectivo efecto	14
Tabla 2. Descripción de los tratamientos a utilizar	17
Tabla 3. Análisis del suelo de la FESL utilizado en el ensayo.....	18
Tabla 4. Análisis de los abonos orgánicos utilizados en el ensayo.	19
Tabla 5. Plantas perdidas por tratamiento debido a la presencia de <i>P. infestans</i>	30
Tabla 6. Rendimientos por ha (15000 plantas).....	50
Tabla 7. Clasificación del tamaño de tomate según calibre (cm).....	62
Tabla 8. Pérdida de frutos por tratamiento según productividad total	65
Tabla 9. Análisis de composición nutricional de los frutos de tomate.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases fenológicas cultivo de tomate	6
Figura 2. Ubicación invernadero de docencia e investigación FESL	16
Figura 3. Disposición de las macetas	24
Figura 4. Incidencia de la enfermedad <i>P. infestans</i> en los diferentes tratamientos según semana	29
Figura 5. Altura por semana de las plantas de tomate.....	31
Figura 6. Diferencias en altura entre plantas de diferentes tratamientos	33
Figura 7. Número de hojas por semana de las plantas de tomate	34
Figura 8. Diferencias en número de hojas entre plantas de diferentes tratamientos	36
Figura 9. Número de flores por semana de las plantas de tomate.....	37
Figura 10. Número de racimos por planta según tratamiento	43
Figura 11. Diferencias en el número de racimos en los diferentes tratamientos.....	44
Figura 12. Número de tomates por planta según tratamiento	45
Figura 13. Peso de los frutos de tomates por planta según tratamiento	47
Figura 14. Diferencias en peso entre frutos del tratamiento LP – L	48
Figura 15. °Brix de los tomates según tratamiento	53
Figura 16. Dureza de los frutos de tomate	56
Figura 17. pH de los frutos de tomate	57
Figura 18. Pérdida de masa por actividad fisiológica	59
Figura 19. Calibre (cm) de los frutos de tomate.....	62
Figura 20. Diámetro ecuatorial (Calibre)	63
Figura 21. Pérdida total de frutos por tratamiento	64

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Altura de las plantas de tomate bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*, expresado en centímetros (cm). Comparaciones de medias LSD Fisher (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$)..... 94
- Anexo 2.** Número de hojas bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*. Comparaciones de medias DGC (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$)..... 97
- Anexo 3.** Número de flores bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*. Comparaciones de medias DGC (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$)..... 99
- Anexo 4.** Número de racimos bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*. Comparaciones de medias LSD Fisher (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). 101
- Anexo 5.** Número de tomates bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*. Comparaciones de medias DGC (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). 102
- Anexo 6.** Peso de los tomates bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*. Comparaciones de medias DGC (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). 103
- Anexo 7.** Sólidos solubles totales de los frutos de tomate bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*, expresado en °Brix. Comparaciones de medias LSD Fisher (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$)..... 104
- Anexo 8.** Acidez de frutos de tomate bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*, expresado en pH. Comparaciones de medias LSD Fisher (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). 105

Anexo 9. Dureza de frutos de tomate bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*, expresado en Newton (N). Comparaciones de medias LSD Fisher (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). 106

Anexo 10. Total de lluvia mensual (mm), temperaturas promedio (°C) y humedades relativas promedio (%) en los meses en los que se desarrolló la tesis. 107

Anexo 11. Precios del kg de tomate desde el 5 de setiembre del 2020, hasta el 21 de febrero del 2021. 107

Anexo 12. Concentración de la bacteria *P. fluorescens* descrita en la etiqueta del producto comercial. 108

Anexo 13. Concentración de la bacteria *P. fluorescens* descrita en el análisis microbiológico realizado en el CIA, UCR. 109

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza de mayor consumo en el mundo, con un consumo per cápita de 20,0 a 28,0 kg al año (Valenzuela, 2018). Los principales países productores se encuentran en el continente asiático aportando un 61.0% de la producción mundial, entre ellos destacan China y la India. A nivel americano destacan Estados Unidos de América, México y Brasil (FAOSTAT, 2019).

En Costa Rica es la hortaliza más consumida, con un consumo per cápita de 12,0-18,0 kg anuales, y que generar alrededor de \$30 mil millones por año. El área cultivada en el país es de 1.000 hectáreas (ha) en manos de pequeños y medianos productores, ubicados en la región Central Occidental (Alajuela y Heredia) con aproximadamente el 61,0- 64,0% de la producción nacional (Brenes, Jiménez y Gamboa, 2015).

El fruto nutricionalmente es una fuente de vitaminas (A, C, E) y presenta compuestos con actividad antioxidante que ayudan a reducir los riesgos de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Pérez et al., 2017).

La cantidad de nutrientes absorbidos por la planta de tomate durante su ciclo depende de factores bióticos y abióticos como la temperatura del aire y del suelo, luminosidad, humedad relativa y concentración de nutrientes (Betancourt y Pierre, 2013). De acuerdo con Bertsch (2009) el cultivo de tomate requiere las siguientes cantidades de nutrientes $180,0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, $57,0 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$, $332,0 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$, $213,0 \text{ kg Ca}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $43,0 \text{ kg Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Estas necesidades nutricionales en la mayoría de los casos son suplidas principalmente por medio de la aplicación de fertilizantes sintéticos, que influyen directamente en la calidad del fruto. La nutrición durante la fase de desarrollo es el factor más importante que afecta la composición de los frutos, así como su comportamiento de postcosecha.

Las deficiencias nutricionales causan diferentes desordenes, por ejemplo, las deficiencias de calcio se relacionan con pudriciones del extremo floral y rajaduras, también el nitrógeno (N) en los tejidos de las plantas está ligado con la vida postcosecha (Almela et al., 2007). Hay evidencias que cuando los niveles de N son inadecuados, facilita la aparición de plagas como la mosca blanca (Insecta: Aleyrodidae) o áfidos (Insecta: Aphididae), que son vectores de virus que pueden causar

pérdidas en más de 50,0% de la producción (Toro, 2017). Los métodos actuales de fertilización química están dirigidos a alcanzar máxima productividad sin tener en cuenta aspectos de calidad interna y externa de los frutos (Alarcón, 2013).

La producción y calidad del tomate es afectada por varios factores entre ellos: variaciones genotípicas, condiciones climáticas y el sistema de producción empleado entre los cuales se contempla la fertilización. De acuerdo con Moposa (2019) la fertilización química afecta la composición morfológica y nutricional del fruto. El sistema de producción actual en nuestro país provoca pérdidas de hasta un 3,0 % en finca y de un 3,0 % en el Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA), éstas mermas de cultivos también generan pérdidas en los recursos utilizados para su producción (agua, energía, insumos) (Brenes et al., 2015).

Según la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2016) el uso de fertilizantes sintéticos en el 2019 fue de 199,0 millones de toneladas (t). Esto contribuye a la degradación del suelo y pérdida de la fertilidad, disminuyendo la capacidad de la base de recursos naturales para el suministro de alimentos.

Padilla et al. (2015) mencionan que los cultivos intensivos de tomate con periodos de 8 a 10 años pueden causar la disminución del contenido de la materia orgánica (MO) del suelo y la pérdida de productividad. Actualmente, existen serios problemas de producción por la reducida fertilidad y pérdida de suelos, lo que provoca que muchos productores usen grandes cantidades de fertilizantes sintéticos. Esta situación da como resultado efectos negativos en las características físicas, químicas y biológicas del suelo que repercuten en los rendimientos y en la calidad de los frutos (Cruz et al., 2017).

La Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2019b) estima que la población mundial para el año 2050 será de 9.700 millones de personas y la demanda por alimentos se incrementará en un 70,0 %, esto sumado a una reducción del área destinada a la producción. Por lo que son necesarias formas de producción sostenibles que permitan mejorar el desarrollo, rendimiento y disminuir la pérdida por calidad para alimentar a la creciente población y atenuar los efectos de los fertilizantes sintéticos sobre el medio ambiente para alcanzar la seguridad alimentaria (Pérez et al., 2018). La producción ecológica y sostenible surge como necesidad para proteger el ambiente y las diferentes especies ante los peligros de la agricultura convencional. Es un tipo de producción que

busca evitar la contaminación haciendo un uso eficiente de los recursos como lo es el reciclaje de residuos biodegradables para producir alimentos sanos libres de contaminantes.

Dentro de esta producción sostenible se encuentra el uso de abonos orgánicos y microorganismos promotores del crecimiento vegetal. Esta se basa en la aplicación de insumos como abonos de fuentes naturales, restos de descomposición de materia orgánica, microorganismos benéficos como hongos y bacterias. Este tipo de fertilización posee muchas ventajas entre ellas: mejora la estabilidad del suelo, facilita el control biológico, favorece el reciclaje de nutrientes, efecto positivo sobre la simbiosis micorrícica, desarrolla procesos de biorremediación en suelos contaminados con sustancias tóxicas, xenobióticos y recalcitrantes (Muñoz y Benavides, 2010).

La información que se va a generar en esta investigación podría ser utilizada por productores para que elijan los abonos orgánicos adecuados. El estudio pretende generar información útil para que sea usada por productores de tomate, que actualmente no cuentan con información suficiente y actualizada sobre el uso de abonos orgánicos y bacterias promotoras de crecimiento vegetal.

La investigación pretende evaluar distintas formas de fertilización orgánica en tomate para mejorar la productividad y calidad del cultivo y con esto promover actividades que minimicen la contaminación ambiental.

Por lo tanto, mediante el uso de abonos orgánicos y *Pseudomonas fluorescens* Migula en el cultivo de tomate se procura dar alternativas para disminuir el uso de fertilizantes químicos y al mismo tiempo mejorar el desarrollo, aumentar la productividad y reestablecer la calidad física y química del fruto para evitar pérdidas en la cadena productiva.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de abonos orgánicos y *P. fluorescens* incorporados al suelo sobre parámetros de desarrollo, producción y calidad del cultivo de tomate para su aplicación en la producción sostenible bajo condiciones de invernadero.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar el efecto individual y combinado de abonos orgánicos y *P. fluorescens* incorporados al suelo para mejorar parámetros de desarrollo y productividad del cultivo de tomate.
- Evaluar el efecto individual y combinado de abonos orgánicos y *P. fluorescens* incorporados al suelo para mejorar aspectos de calidad de la cosecha del cultivo de tomate.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Cultivo de tomate

El cultivo tomate pertenece a la familia Solanaceae y es originario de América del Sur; entre las regiones de Chile, Ecuador y Colombia. Su domesticación se inició en el sur de México y Norte de Guatemala y es una de las hortalizas más importantes del sector agroalimentario a nivel mundial y costarricense (Brenes et al., 2015; Rodríguez et al., 2018). A nivel mundial, China es el principal productor con 50.125.055 t, seguido por la India con 17.500.000 t, y Estados Unidos con 13.206.950 t (FAOSTAT, 2019; López, 2017).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2014) y FAOSTAT (2019), actualmente en Costa Rica existen cerca de 1.760 unidades productivas de tomate, lo cual representa un área cultivada de 1.100 a 1.250 ha. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2007) los rendimientos oscilan desde los 35.000 y 70.00 kg·ha⁻¹ para los sistemas en campo abierto, mientras que para el sistema de invernadero están alrededor de 120.000 y 176.000 Kg·ha⁻¹.

El cultivo de tomate se desarrolla bien en condiciones muy variadas, la temperatura óptima para el crecimiento está entre 21,0 y 27, 0° C, y para el cuajado de frutos durante el día está entre 23,0 y 26,0° C y durante la noche entre 14,0 y 17,0° C (Rodríguez et al., 2018).

3.2 Etapas fenológicas

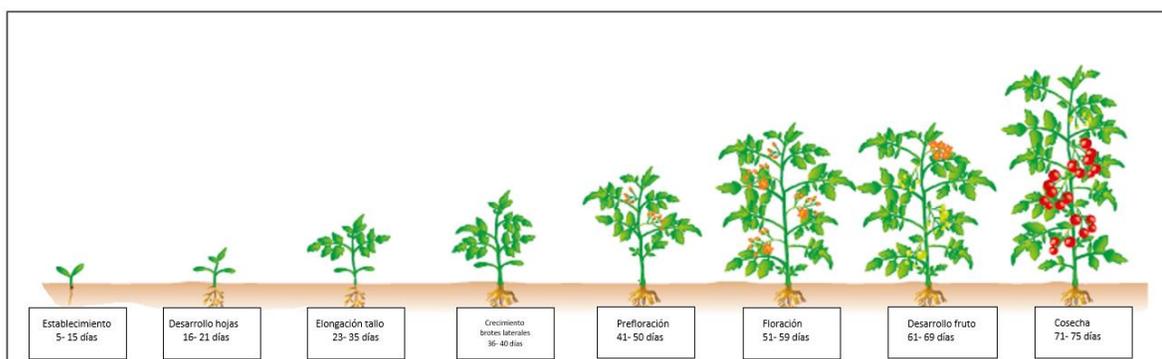
La duración del ciclo del cultivo de tomate está determinada por las condiciones climáticas, el suelo, el manejo agronómico, el número de racimos que se van a dejar por planta y la variedad utilizada. El desarrollo del cultivo comprende dos fases: una vegetativa y otra reproductiva (Figura 1) (Rodríguez et al., 2018).

La fase vegetativa se inicia desde la siembra en semillero, seguida de la germinación, la emergencia y el trasplante, el cual se realiza con un promedio de tres a cuatro hojas verdaderas. El desarrollo de las hojas, la elongación del tallo y el crecimiento de los brotes laterales va desde los 16 días hasta los 40 días (Compañía Global de Mejoramiento de Cultivos [GCiC], 2015; Rodríguez et al., 2018).

La fase reproductiva se inicia desde la formación del botón floral, que ocurre entre los 41 y los 50 días después del trasplante, el llenado del fruto, que dura aproximadamente 60 días para el primer racimo, iniciándose la cosecha a los 70- 90 días, con una duración de tres meses para una cosecha de 8 a 10 racimos. En total la fase reproductiva tiene una duración de 180 días aproximadamente (GCiC, 2015; Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA], 2016).

Figura 1

Fases fenológicas cultivo de tomate



Nota. Adaptado de *Go- Farming: Tomato*, por GCiC, 2015, <http://www.gcic-global.com/tomato/>.

3.3 Requerimientos nutricionales

El tomate es la hortaliza más exigente en lo que respecta a nutrición y se requieren cantidades considerables de abono para llenar las necesidades de este cultivo. La extracción de nutrientes por la planta de tomate varía de acuerdo con la disponibilidad de ellos en la solución del suelo, la edad de la planta y la variedad sembrada. Según Bertsch (2009) para rendimientos de 33,0 t·ha⁻¹ este cultivo requiere de 180,0 kg N·ha⁻¹, 57,0 kg P·ha⁻¹, 332,0 kg K·ha⁻¹, 213,0 kg Ca·ha⁻¹ y 43,0 kg Mg·ha⁻¹.

3.4 Fertilización química

La FAO estima que el uso de fertilizantes en el 2019 fue de 199 millones de toneladas. Según Omar et al. (2015) anualmente se utilizan en el mundo más de 100,0 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados y más de 90,0 millones de fosforo (P) y potasio (K). Este excesivo uso de fertilizantes resulta en mayores costos de producción y en la contaminación de suelos y

aguas, esto ha ocasionado un proceso de deterioro de recursos y una creciente dificultad para renovarlos.

Díaz et al. (2015) indican que el uso de fertilización química ha provocado un deterioro constante de las características químicas y físicas del suelo como lo pueden ser la compactación y la pérdida de estructura y textura. Esto se traduce en una disminución de la productividad, reflejada en menos rendimientos y mayores problemas ambientales. Otros investigadores como Orozco et al. (2016) afirman que el uso excesivo de fertilización química modifica el equilibrio entre microorganismos que existen en el suelo y altera el desarrollo de las plantas que atrae mayor cantidad de plagas y enfermedades. Además, estos fertilizantes generan efectos negativos como lo pueden ser la contaminación ambiental, principalmente cuerpos de agua.

Otra problemática asociada a la fertilización con insumos de síntesis química son los altos costos de producción, intensificada en los últimos años debido a las situaciones generadas por la pandemia del COVID-19, crisis de los contenedores, energéticas, de fertilizantes y más recientemente el conflicto entre Rusia- Ucrania (Pomareda, 2022). En el año 2022 el precio del tomate aumentó un 145% con respecto al año anterior debido principalmente al aumento en el precio de los fertilizantes y otros insumos importados (INEC, 2022; Soto, 2022). Por ejemplo, en junio del 2020 la urea tenía un precio de \$202 la tonelada métrica y en septiembre del 2021 alcanzó los \$419; un aumento del 107% (Barquero, 2021). En enero del 2022 la tonelada métrica alcanzó un precio de \$846 (Index Mundi, 2022). Según Pomareda, 2022, los precios de los fertilizantes han aumentado hasta un 200%.

3.5 Calidad del fruto

La calidad de la fruta de tomate está determinada por características físicas, tales como el color, la firmeza, el tamaño y la forma. Además de características químicas como el contenido de sólidos solubles totales (SST) (°Brix), el pH, la acidez titulable y la relación azúcares/ácidos, porcentaje de materia seca, y de sus componentes nutricionales (aporte de vitaminas y minerales) (Hemaprabha y Balasaraswathi, 2008; Pérez y Coto, 2019).

Según MAG-UCR-FITTACORI (2002) en nuestro país existe una norma llamada “Reglamento de la norma de calidad del Ministerio de Economía y Comercio (MEIC) de Costa Rica.1989 No.18812 MEC”. Esta norma dicta las características que debe presentar el tomate, para consumo en estado fresco, entre las cuales se mencionan, grado de madurez, daños serios y daños

menores. Además, se menciona que el tomate debe estar suficientemente maduro, firme, compacto y sin indicios de madurez excesiva, debe estar sano, libre de microorganismos, enfermedades, insectos, no deben presentar grietas, cicatrices, rajaduras, ni quemaduras. Es importante que el fruto este limpio y libre de residuos de productos agroquímicos, debe tener características organolépticas como:

-Aspecto: Se basa en la clasificación en frutos libres de daños con tamaño de al menos 8,0 cm de diámetro y 200,0 g de peso o más para tomate de “primera”. Frutos menores a los 200,0 g para tomate de “segunda”. Finalmente, frutos con diámetro menor a los 5,0 cm y algunos daños leves sin pudrición para tomate de “tercera” (Brenes et al., 2015; MAG-UCR-FITTACORI, 2002).

-Color: Variable, dependiendo del grado de maduración, que va desde verdoso-amarillo, hasta el rojo intenso (MAG-UCR-FITTACORI, 2002).

-Olor: Debe presentar un olor agradable propio del fruto; un fruto sin olor u olor muy fuerte es de baja calidad y podía estar asociado a algún patógeno. (MAG-UCR-FITTACORI, 2002).

-Sólidos solubles: Corresponden a la medición de la concentración de la sacarosa en cierto producto (Brenes et al., 2015).

-Acidez: Indica la concentración de iones hidronio en dicha disolución. Está dada como un número de la escala de pH que va de 0,0 a 14,0. Se asocia a factores de vida útil y sobre todo al sabor de los productos (Brenes et al., 2015).

-Sabor: Propio, sin acidez excesiva (Brenes et al., 2015). Se establece bajo la siguiente formula:

$^{\circ}\text{Brix promedio multiplicado por el cuadrado del valor del pH promedio. } [(^{\circ}\text{Brix}) \times (\text{pH})^2]$

La norma también establece que debe estar en los niveles de aditivos y contaminantes permitidos por el Ministerio de Salud y el Ministerio de Agricultura y Ganadería o por normas internacionales como la de Codex Alimentarius (MAG-UCR-FITTACORI, 2002).

La calidad del fruto de tomate es afectada por variaciones genotípicas, condiciones climáticas y el sistema de producción empleado entre los cuales se contempla la fertilización (Brenes et al., 2015).

3.6 Fertilización y calidad

Según Alarcón (2013), la planta de tomate requiere altas cantidades de macro y micronutrientes en periodos cortos los cuales tienen interacciones negativas y positivas. Estas interacciones pueden inducir alteraciones a nivel subcelular manifestados en cambios en tasas de división y expansión celular, utilización y traslocación de carbohidratos y ácidos orgánicos, fotosíntesis, respiración. La influencia de estos cambios se traduce finalmente en el rendimiento y fisiología de los frutos cosechados.

Se considera que un contenido excesivo o deficiente de N afecta los parámetros nutricionales como vitamina C, azúcares, pigmentos carotenoides, ácidos orgánicos, aminoácidos esenciales, compuestos fenólicos. Adicionalmente afecta la textura, tamaño e incluso provoca retrasos en la maduración de los frutos. Un estudio realizado por Soto (2003) indica que el uso de fuentes de N naturales permite producir frutos de mejor calidad en comparación con frutos producidos bajo un sistema de fertilización química.

De acuerdo con Alarcón (2013) y Valadez et al. (2016), los factores que determinan la calidad de los productos ecológicos son el valor nutritivo, el sabor, los beneficios a la salud y los efectos sobre el ambiente. También mencionan que estos productos son inocuos, sin contenido de residuos químicos, con mayor contenido de materia seca, fibra, carbohidratos solubles totales, azúcares reductores, aminoácidos esenciales y vitaminas.

Moposa (2019) indican que la calidad del tomate se ve influenciada por la fertilización química. Este tipo de fertilización tienen como objetivo alcanzar máxima productividad sin tener en cuenta aspectos de calidad interna y externa de los frutos (Alarcón, 2013). Charles y Martín (2015) mencionan que la fertilización mineral muy intensa genera altos rendimientos, pero calidades bromatológicas bajas.

Las bajas calidades nutricionales y morfológicas en el cultivo de tomate hacen que no cumplan con los estándares de clasificación y se pierdan o se tengan que clasificar como tomates de tercera en el mejor de los casos. También la baja vida útil ocasionada por una mala nutrición provoca que el fruto sea más vulnerable a transporte y almacenamiento al comenzar a sufrir daños y enfermedades más rápido, lo que genera pérdidas importantes de la producción (Sharma et al., 2017).

El sistema de producción actual de nuestro país contemplando el uso de fertilización química provoca pérdidas de hasta un 3,0 % en finca y de un 3,0 % en el Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA). Estas mermas de cultivos también generan disminución en los recursos utilizados para su producción (agua, energía, insumos) (Brenes et al., 2015).

Es claro que existe la necesidad de buscar formas de producción sostenibles que permitan incrementar rendimientos y mejorar calidad. Asimismo, evitar pérdidas de producción en finca o almacenamiento y disminuir los impactos negativos en el ambiente para así poder alimentar a esa creciente población con productos nutricionales y libres de residuos químicos que garanticen la seguridad alimentaria. Esto lo menciona la ONU (2019a) cuando dice que “la inseguridad alimentaria es un asunto que motiva mayor producción y calidad de alimentos mediante formas sustentables, que a la vez permitan reducir la pérdida y desperdicio de alimentos”.

3.7 Producción sostenible

Según FAO (2015) la producción sostenible se enmarca principalmente en el objetivo 12 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y consiste en fomentar el uso eficiente de los recursos y energía. Son formas de producción que no dañan el ambiente, que permitan mejorar la calidad de vida de la población y que ayudan a lograr planes de desarrollo que disminuyan costos económicos, ambientales y sociales. La producción sostenible busca aumentar la competitividad y reducir la pobreza.

Una de las metas de este objetivo es lograr la gestión ecológica de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida para así reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo. El fin es lograr minimizar los efectos adversos en la salud humana y el ambiente. Una forma de producción sostenible es el uso de abonos orgánicos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal.

3.7.1 Abono o sustrato orgánico

El abono o sustrato orgánico es el material resultante de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio. Estos microorganismos digieren los materiales y los transforman en otros benéficos que aportan nutrientes al suelo y, por tanto, a las plantas que crecen en él. Es un proceso controlado y acelerado de descomposición de los residuos, que puede ser aeróbico o anaerobio, dando lugar a un producto estable de alto valor

como mejorador del suelo (Ramos y Terry, 2014). Los abonos orgánicos, mejoran las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, contribuyendo a la solución del problema de la contaminación del ambiente (Durán y Henríquez, 2009).

Algunos abonos o sustratos utilizados que han demostrado ser eficientes son el compost lombricompost, bocashi, turba, té de compost, biofermentos, ácidos húmicos y fúlvicos. Estos abonos además de brindar nutrientes a la planta mejoran características físicas del suelo como lo son la textura, estructura, porosidad y retención hídrica permitiendo un mejor desarrollo de las plantas (Valadez et al., 2016).

- **Lombricompost**

El lombricompost o vermicompost es el resultado de la transformación por medio de la lombriz roja californiana *Eisenia fetida* Bouché, 1972 (Oligochaeta, Lumbricidae) y distintos microorganismos de los desechos orgánicos en humus para ser utilizado en la agricultura (Varela et al., 2019). Según Tombion et al. (2016) es un material estabilizado, sin olores y con características importantes que hacen que funcione de buena manera como sustrato. Adicionalmente Gómez (2011) agrega que es una aplicación de la biotecnología, ya que se usa un organismo vivo para lograr una producción de humus.

La incorporación de diferentes concentraciones de lombricompost en sustratos favorece el crecimiento y producción en diversos cultivos hortícolas (Mora et al., 2021; Tombion et al., 2016). El vermicompost tiene una serie de propiedades fisicoquímicas y microbianas como lo son: facilitar la aireación e incrementar la permeabilidad de la tierra, constituye agregados muy estables, suele carecer de microorganismos patógenos, actúa de enmienda soltando los suelos arcillosos y cohesionando los arenosos. Además, tiene otras características como la capacidad de retención de agua y elevado intercambio catiónico, al tener un pH cercano al neutro ejerce función buffer (Velecela, 2019).

- **Bocashi**

De acuerdo con Ramos et al. (2016) la palabra Bocashi significa “materia orgánica fermentada”. Es un tipo de abono orgánico que lleva un proceso de semi descomposición aeróbica de residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos que existen en los residuos. Aporta una cantidad elevada de microorganismos como hongos, bacterias y actinomicetos que

brindan al suelo mejores condiciones de sanidad. Se pueden mencionar beneficios como suministrar a la planta los microelementos en forma soluble y en un microambiente de pH biológicamente favorable para la absorción radicular.

También estos microorganismos benéficos compiten con microorganismos patógenos que hay en la zona radicular de la planta. La cantidad de nutrientes va a depender de las materias primas que se utilicen para su fabricación y del proceso realizado. Algunos ejemplos de insumos utilizados son: suelo, gallinaza, estiércol de ganado, ceniza, cal, melaza, residuos vegetales, suero o ácido láctico, levaduras, carbón triturado y agua (Ramos y Terry, 2014).

3.7.2 Bacterias promotoras de crecimiento vegetal

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés) brindan beneficios a la planta como lo pueden ser, promoción del crecimiento o resistencia a enfermedades. Estas bacterias colonizan las raíces e interactúan con la planta, segregando sustancias que le permiten a la planta un mejor desarrollo y crecimiento (Ramos y Terry, 2014).

Los mecanismos directos de las PGPR incluyen principalmente mejor absorción de nutrientes como el N y P, y la producción de fitohormonas como lo pueden ser ácido-indol-3-acético (IAA), giberelinas y citoquininas que actúan como estimulantes de crecimiento (Vaikuntapu et al., 2014). Una de las principales bacterias promotoras de crecimiento utilizadas en la agricultura corresponde a *P. fluorescens*.

- ***P. fluorescens***

Pertenecen a la subclase alfa de las proteobacterias, son bacterias Gram negativas. Estos microorganismos producen importantes efectos en la planta como, una implantación más rápida, mayor crecimiento de raíces, mayor tolerancia a patógenos, fijación biológica no simbiótica de N y solubilización de nutrientes como el fósforo (P) (Rizzardi, 2018; Rodríguez, 2020).

Se han demostrado efectos positivos de *Pseudomonas* spp. al ser utilizados en cultivo de hortalizas principalmente en el cultivo de tomate, favoreciendo el crecimiento de las plantas y el peso seco de la raíz. Estos efectos, son debido a que el ácido indolacético (IAA) bacteriano puede inducir el crecimiento de la raíz, aumentando la captación mineral de la planta y la exudación. (Ricci et al., 2019). La aplicación de *P. fluorescens* al momento del trasplante ha incrementado

hasta en 45% la producción de frutos de primera calidad (Vio et al., 2017). Los mecanismos de la bacteria que permiten estimular el crecimiento de las plantas son los siguientes,

Solubilización de fosfatos

Según Ruiz et al. (2021), los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF) transforman el fósforo insoluble o fijado en la superficie de las arcillas coloides a fósforo soluble para que pueda ser absorbido por la planta. Esto permite favorecer el desarrollo y producción de las plantas, disminuyendo el uso de fuentes de fertilizante inorgánico fosfatado.

Vanegas et al. (2011), mencionan que los MSF se encuentran principalmente en la rizosfera de la planta. El principal mecanismo que poseen estos microorganismos para la solubilización de fosfatos es la excreción de protones o de ácidos orgánicos que generan una disminución en los niveles de pH. En el caso de los ácidos orgánicos, los grupos hidroxilo y carboxilo quelan los cationes unidos al fosfato, dejando al P soluble disponible para la planta.

Producción de fitohormonas

Las fitohormonas producidas por los microorganismos permiten intercambiar compuestos con la planta. Estos promueven el desarrollo de las plantas al estimular procesos fisiológicos y metabólicos. Es posible favorecer el desarrollo radicular, elongación, brotación, floración (Okumoto, 2003). Algunas fitohormonas que se pueden liberar corresponden a ácido indolacético (AIA) del grupo de las auxinas, ácido giberélico (GA3), citoquininas y ácido abscísico (ABA). Además, enzimas como 1-aminociclopropano 1-carboxilato (ACC) desaminasa, que reduce el nivel de etileno en las raíces (González y Fuentes, 2017).

3.8 Inoculantes microbianos

Según Okumoto (2003) un inoculante microbiano es un producto que contiene alguna cepa o combinación de diferentes cepas de microorganismos vivos. Funciona a través de interacciones que permiten mejorar las características físicas y químicas del sustrato y de la planta. En nuestro país existen una cantidad considerable de productos comerciales como los son Bioprotection fosforin®, Nitrobacter®, Metafix®, EM-1®, Fusión BT®, Fénix Tri®, etc. Estos inoculantes pueden contener diferentes microorganismos en distintas concentraciones.

De acuerdo con Vanegas et al. (2011), los inoculantes microbianos se aíslan de diferentes muestras, principalmente suelo, rizosfera y órganos de las plantas, y se identifican

taxonómicamente en laboratorio, además de comprobar sus mecanismos de acción para aumentar el desarrollo vegetal. Los inoculantes microbianos son una alternativa para disminuir los efectos negativos provocados por el uso de plaguicidas de síntesis química en el ambiente. Además, ante el surgimiento de nuevos mercados ecológicos y orgánicos, los inoculantes microbianos son una alternativa viable.

En la Tabla 1 se muestran grupos de microorganismos y sus respectivas fitohormonas, los cuales tienen efectos benéficos en los cultivos.

Tabla 1

Microorganismos productores de fitohormonas y su respectivo efecto

Fitohormona	Función en la planta	Microorganismo
Auxina	Crecimiento y ramificación de raíces.	<i>Azotobacter, Rhizopus, Pseudomonas, Rhizobium, Azospirillum, Franckia</i>
Giberelinas	Crecimiento y floración	<i>Azotobacter, Arthrobacter</i>
Citoquininas	División y alargamiento celular	<i>Azotobacter, Arthrobacter, Rhizobium.</i>
Etileno	Crecimiento de raíces y efecto supresivo del suelo	<i>Pseudomonas</i>

Nota. Adaptada de “Uso de inoculante microbiano para la elaboración de abono orgánico” (p. 1-8) por Okumoto, 2003, *Taller de abonos orgánicos*.

Los efectos benéficos en los cultivos pueden ser mejorar el desarrollo, rendimiento y calidad, logrando una agricultura más eficiente y sostenible. Algunos estudios como los que se mencionan a continuación dan respaldo de la influencia positiva de estos microorganismos.

Un ensayo realizado por Cuellar et al. (2018) en el cultivo de plátano (*Musa x paradisiaca* L., Musaceae) concluyó que el uso de fertilización biológica permitió incrementar los rendimientos y mejorar las propiedades del suelo a diferencia de los fertilizantes químicos que reducen la productividad de la tierra. Sobre este tema Díaz, Alvarado, Alejandro y Ortiz (2016) demostraron que las características de la planta, el fruto y el rendimiento de la calabaza (*Cucurbita pepo* L.), se comportaron similares a la fertilización mineral utilizando abonado de gallinaza, inoculación micorrízica y la combinación de ambas. El uso de fertilización biológica tiene ventaja con respecto a la mineral debido a que este tipo de fertilización no tiene efecto negativo en el ambiente y permite la sostenibilidad.

4. METODOLOGÍA

4.1 Localización del estudio

La investigación se realizó en el invernadero de docencia de la Finca Experimental Santa Lucía (FESL), de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), ubicada en el cantón de Barva, Heredia (Figura 2). Este sitio se encuentra entre las coordenadas 10.022246 latitud norte y -84.112144 longitud oeste y, a una altitud de 1200 msnm. Presenta una precipitación promedio anual de 2403,5 mm, con una temperatura promedio anual de 20,2 °C, una humedad relativa de 75,0% y una velocidad del viento de 15,5 km/h (Instituto Meteorológico Nacional [IMN], 2019).

Figura 2

Ubicación invernadero de docencia e investigación FESL



Nota. Mapa creado con el software Qgis Desktop 3.2.3.

4.2 Establecimiento del proyecto en invernadero

En el invernadero se acondicionó un espacio el cual se limpió y se cubrió con malla antiáfidos. Se utilizó un sistema de riego por goteo previamente instalado con una descarga de $6,0 \text{ l h}^{-1}$.

4.3 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados se basaron en mezclas de suelo Andisol (Dystric Haplustands) sin esterilizar, obtenido de la FESL (Montes de Oca y Mata, 1996). En combinación con lombricompost (FESL), bocashi (Coopebrisas), compost (Campus Sostenible), fertilizante inorgánico y una bacteria promotora de crecimiento vegetal (*P. fluorescens* cepa: mog05) obtenida del laboratorio del Dr. Obregón (Tabla 2).

Tabla 2*Descripción de los tratamientos a utilizar*

Tratamiento	Código	No. Repeticiones
Testigo absoluto (solo suelo)	T	8
Suelo + Fertilización inorgánica	I	8
Suelo + Lombricompost (20%)	L	8
Suelo + Bocashi (20%)	B	8
Suelo + Compost (20%)	C	8
Suelo + Lombricompost (20%) + <i>P. fluorescens</i>	LP	8
Suelo + Bocashi (20%) + <i>P. fluorescens</i>	BP	8
Suelo + Compost (20%) + <i>P. fluorescens</i>	CP	8
Suelo + <i>P. fluorescens</i>	P	8
Suelo + Fertilización inorgánica + <i>P. fluorescens</i>	IP	8
TOTAL		80

4.4 Caracterización química del suelo

Se recolectó suelo en un área de 1.000 m² en la Finca Experimental Santa Lucía. Se realizaron diferentes hoyos a una profundidad de 20,0 cm abarcando la totalidad del área. Posteriormente, se secó el suelo a temperatura ambiente durante 24 horas y se procedió a tamizarlo. Una vez seco y tamizado se colectó 1,0 kg de muestra representativa y se envió al Laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA- UCR) para su análisis (Tabla 3).

Tabla 3

Análisis del suelo de la FESL utilizado en el ensayo

Elemento químico	Unidad	Valor
Ca	cmol(+)/L	7.04
Mg	cmol(+)/L	1.19
K	cmol(+)/L	0.64
P	mg/L	6
Zn	mg/L	2,8
Cu	mg/L	6
Fe	mg/L	94
Mn	mg/L	4
pH (H ₂ O)	-	6.0
Acidez	cmol(+)/L	0.10
CICE	cmol(+)/L	8.97
CE	mS/cm	0.2

Nota. *Análisis realizado en el CIA- UCR.

4.5 Caracterización química de los abonos orgánicos

El lombricompost utilizado se elaboró con los desechos del ganado jersey del proyecto de leche bovina de la FESL. Estos desechos son descompuestos por la lombriz roja californiana. El bocashi se fabricó con carbón triturado, ceniza, cal y residuos vegetales, el mismo se elaboró en Zarcero por la empresa Coopebrisas.

El compost se fabricó con los desechos provenientes de las sodas de los diferentes Campus de la UNA, el proceso de elaboración se realizó en una máquina automatizada que tarda 24 horas en producirlo. Los tres abonos se recolectaron, se cuartearon y se tamizaron para obtener muestras representativas de 1,0 kg que se enviaron CIA- UCR para su análisis (Tabla 4).

Tabla 4

Análisis de los abonos orgánicos utilizados en el ensayo

Elemento químico	Unidad	Lombricompost	Bocashi	Compost
N	%	2,69	1,46	2,12
P	%	1,16	1,23	0,59
Ca	%	2,56	5,92	3,33
Mg	%	0,76	0,62	0,21
K	%	0,71	1,92	1,21
S	%	0,42	0,42	0,19
Fe	mg.kg ⁻¹	5,680	20,724	2,136
Cu	mg.kg ⁻¹	108	98	16
Zn	mg.kg ⁻¹	422	332	143
Mn	mg.kg ⁻¹	332	956	105

B	mg.kg ⁻¹	15	30	14
pH		7,7	8,9	8,9
CE	mS.cm ⁻¹	8,1	14,3	6,2
Hum	%	66	9	12
C	%	29,67	17,58	43,4
C:N	-	11	12	20,5

Nota. *Análisis realizado en el CIA- UCR

4.6 Aplicación de los tratamientos

Se depositaron 8,5 kg de suelo en las macetas correspondientes al tratamiento testigo (T), *P. fluorescens* (P) e inorgánicos (IP, I), en los otros tratamientos se mezcló el suelo con lombricompost, bocashi o compost según correspondía en una relación porcentaje 80:20 (suelo: abono orgánico), y se adicionó en macetas plásticas No.1200 de 8,5 kg de capacidad. La relación 80:20 correspondió a 1.700 g de abono orgánico por planta. Una plantación de tomate de 15.000 plantas requiere 25,5 t·ha⁻¹. Las macetas se humedecieron a capacidad de campo 24 horas previo a la siembra.

Se realizó un hoyo de 5,0 cm de profundidad en el centro de la maceta y se sembró una plántula de tomate (variedad JR, proveedor AgroVerde Semilleros S.A.), inmediatamente se inocularon los tratamientos (LP, BP, CP, IP y P) con una suspensión de 15,0 ml planta (15,0 l·ha) de las bacterias promotoras del crecimiento (*P. fluorescens*) obtenida de Laboratorios Dr. Obregón, posteriormente se cubrió el hoyo con suelo. Esta misma inoculación se realizó a los 30 ddt (días después del trasplante). La suspensión de 15,0 ml contenía (1,0 ml del producto comercial + 14,0 ml de agua destilada). Los tratamientos restantes (T, L, B, C, I) recibieron las mismas dos inoculaciones de 15,0 ml con agua destilada.

El producto base utilizado que contenía *P. fluorescens* reportó una concentración de 7,2x10¹⁰ UFC·ml⁻¹ (Anexo 12). Al realizar el análisis microbiológico (CIA- UCR) al producto, se

determinó que el mismo poseía una concentración de $4,0 \times 10^5$ UFC·ml⁻¹ (Anexo 13). Debido a esta situación se procedió a realizar las dos inoculaciones antes mencionadas.

La fertilización inorgánica se dosificó y se realizó acorde al análisis de suelo y los requerimientos del cultivo según la etapa y curvas de absorción. La dosificación se realizó al momento del trasplante, a los 15, 35, 55, 75 y 95 ddt (Bertsh, 2009; López, 2017).

Las fuentes utilizadas para la fertilización inorgánica correspondieron a 10-30-10, 15-3-31 y quelatos de calcio y magnesio. Al trasplante se aplicó una cantidad de 15,8 g de 10-30-10 por planta, a los 15 ddt, una dosis de 15,5 g de 15-3-31 por planta, a los 35 ddt una dosis de 15,5 g de 15-3-31 por planta y 1,44 ml de magnesio, a los 55 ddt una dosis de 15,5 g de 15-3-31 por planta y 0,12 ml de calcio por planta, a los 75 ddt una dosis de 15,7 g de 15-3-31 por planta y la última dosis se aplicó a los 95 días, correspondiente a 9,03 g de 15-3-31 por planta.

4.7 Manejo agronómico

Para el manejo agronómico de los tratamientos, se utilizó la metodología empleada por Allende et al. (2017) y López (2017).

-Riego: Se realizaron aplicaciones constantes de agua según los requerimientos del cultivo y la capacidad de retención del suelo. Se mantuvo el suelo a capacidad de campo (CC). Se instaló un sistema de riego por goteo con una descarga inicial de $6,0 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, la misma fue cambiando conforme el desarrollo del cultivo y basado en la retención de humedad del tratamiento testigo (T).

-Tutorado: Se amarró cada planta con rafia desde la base del tallo para mantenerla erguida, cuando la planta tenía cerca de 20,0 cm de altura se procedió a tutorarla con anillos. También se realizó amarre de los racimos al tallo de la planta para evitar daños por el peso del fruto.

-Poda: Las plantas se dejaron a un eje o tallo, por lo tanto, se hicieron constantes podas de brotes axilares de manera manual. También se realizaron podas de sanidad de hojas o frutos dañados. Las plantas se dejaron a máximo 9 racimos, por lo tanto, una vez formados los frutos del octavo racimo se procedió a podar el meristemo apical de la planta.

-Manejo de malezas, plagas y enfermedades: El manejo de malezas se hizo semanalmente de manera manual. Se hizo un manejo integrado de plagas (MIP), desde la semana 4 se presentaron problemas de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary, por lo que se debió aplicar

algunos ingredientes activos como como fosetyl-Al, propamocarb, mancozeb y el hongo antagónico *Trichoderma harzianum Rifai*, (1969) de manera foliar. Además, se presentaron algunos problemas leves con los hongos causantes del tizón temprano (*Alternaria solani* Sorauer) y de antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides* (Penz.)). Penz. & Sacc.

La principal plaga que se presentó fue mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera, Aleyrodidae), se manejó con trampas amarillas y algunas aplicaciones del insecticida con ingrediente activo tiametoxam (neonicotinoide).

-Polinización: Se realizó de forma manual por medio de vibraciones de los tutores para que se diera el desprendimiento del polen.

4.8 Variables a evaluar:

Se evaluó el efecto de los abonos orgánicos sobre parámetros de desarrollo (altura, número de hojas, número de flores), productividad (número de racimos, número de tomates, peso del tomate) y calidad (° Brix, pH, dureza, conservación postcosecha, aspecto, composición nutricional).

4.8.1 Variables para determinar parámetros de desarrollo de la planta

Las variables que se mencionan a continuación se evaluaron una vez por semana desde el momento del trasplante hasta la cosecha (3,5 meses).

-Altura de la planta: Se midió la altura de cada planta con una cinta métrica desde el nivel del suelo hasta el ápice del tallo. Este mismo procedimiento fue propuesto por Alarcón et al. (2020) en su ensayo para evaluar el efecto de microorganismos eficientes en variables agronómicas del tomate.

-Número de hojas: Se contó el número de hojas de cada planta a partir de la emergencia de la primera hoja verdadera. Esta variable fue utilizada por Madriz (2019) en su ensayo para evaluar el desarrollo de plantas de pepino y también fue implementada por Pisco y Arenas (2006) para evaluar el efecto de biosólidos sobre el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.)

-Número de flores: Se contó el número de flores de cada planta. Esta variable fue utilizada por Agudelo y Polanco (2019) en su ensayo para evaluar el efecto de un bioestimulante en el cultivo de tomate.

4.8.2 Variables para determinar parámetros de productividad

Las variables que se mencionan a continuación se evaluaron durante el ciclo productivo (hasta 3.5 meses). Los tomates se cosecharon cuando el fruto alcanzó una coloración 10% verde y 90% rojo (Casierra y Avendaño, 2008).

-Número de racimos: Se contó los racimos de cada planta. Esta variable fue utilizada por Serna et al. (2017) para evaluar el efecto de ácido giberélico en el crecimiento, rendimiento y calidad en el cultivo de tomate.

-Número de tomates: Se contaron los tomates de cada planta. Esta variable fue utilizada por Delgado et al. (2019) para evaluar el efecto de *Gluconacetobacter diazotrophicus* en el cultivo de tomate.

-Peso de los tomates: Se pasaron los frutos de cada planta. Esta variable fue utilizada por Vásquez (2018) para determinar el efecto de gallinaza en el cultivo de tomate cherry. Asimismo, la utilizó Castelo et al. (2016) al evaluar el efecto de residuos de champiñón como mejorador del suelo y biofertilizante en producción de tomate.

4.9 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) de 10 tratamientos con 8 repeticiones por tratamiento (Figura 3). La unidad experimental correspondió a una maceta No. 1200 de 8,5 kg de capacidad con una planta de tomate. Las mismas se colocaron en el suelo espaciadas a 125,0 cm entre hileras y 40,0 cm entre plantas.

Figura 3

Disposición de las macetas



Nota. Macetas con plantas de tomate en un diseño completamente al azar (DCA).

4.10 Análisis estadístico parámetros de desarrollo y productividad

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta (altura, número de hojas, número de flores), se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas en el tiempo bajo la teoría de los modelos lineales mixtos. El modelo lineal para el experimento bifactorial es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$\text{con: } i = 1 \dots 10, \quad j = 1 \dots 16, \quad k = 1 \dots 8$$

Con

Y_{ijk} : variable de respuesta del i -ésimo tratamiento, j -ésimo tiempo de evaluación y la k -ésima repetición.

μ : media general

α_i : efecto de la i-ésimo tratamiento.

γ_j : efecto de la j-ésimo tiempo de evaluación

δ_{ij} : efecto adicional (interacción) para la combinación de los niveles i del tratamiento y j tiempo de evaluación.

ε_{ijk} : término de error que se distribuye normal independiente con media cero y varianza constante.

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta estudiada (número de racimos, número de tomates, peso del tomate), se realizó un análisis de varianza (ANOVA). El modelo lineal para el experimento unifactorial es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

$$\text{con: } i = 1 \dots 10, \quad k = 1 \dots 8$$

Con

Y_{ijk} : variable de respuesta del i-ésimo tratamiento, j-ésimo tiempo de evaluación y la k-ésima repetición.

μ : media general

α_i : efecto de la i-ésimo tratamiento.

ε_{ijk} : término de error que se distribuye normal independiente con media cero y varianza constante.

Se comprobaron los supuestos del ANOVA con gráficos diagnósticos (cuantiles de los términos de error, gráficos de residuos y gráficos de residuos vs. predichos) y se escogió el mejor modelo en función de los criterios de Akaike (AIC) y de información Bayesiano (BIC). En las variables donde existían diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizó las comparaciones de medias por medio de la Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) o Tukey ($p \leq 0.05$) permitiendo la formación de grupos excluyentes y no transición entre tratamientos.

4.11 Procedimiento para determinar la calidad de la cosecha

Se procedió a seleccionar tomates por tratamiento según la productividad, con igual porcentaje de maduración (10% verde y 90% rojo) y que no presentaran daños, para hacer un lavado con agua destilada y realizar los análisis de °Brix, pH y dureza (Laboratorio Postcosecha (UCR)). De estos tomates se seleccionaron trozos por tratamiento y se enviaron al CIA para sus análisis de composición nutricional.

Otro grupo de tomates seleccionados se almacenaron a temperatura ambiente, y se les pesó cada cinco días para determinar las pérdidas de peso y la influencia de la fertilización en la vida útil.

La totalidad de los tomates fueron pesados y medidos (diámetro ecuatorial) para clasificarlos por su calibre (grandes, medianos y pequeños). Además, se contaron los tomates dañados por *P. infestans* o deformes para determinar la pérdida total y por tratamiento.

4.11.1 Variables para determinar la calidad de la cosecha

Una vez cosechados los tomates, se evaluaron las siguientes variables:

°Brix: Se seleccionó una muestra de tomates representativa de cada tratamiento según la productividad, a cada tomate se le tomó su medida utilizando un refractómetro manual Pocket PAL-1 y se determinó el promedio por planta. Esta variable y metodología fue utilizada por Márquez et al. (2014) para evaluar el efecto de fertilización orgánica sobre contenido nutricional en el cultivo de tomate.

pH: Se seleccionó una muestra de tomates representativa de cada tratamiento según la productividad, a cada tomate se le tomó su medida utilizando un potenciómetro Cole-Parmer Chemcadet 5986-50 pH/ion/mV meter y se determinó el promedio por planta. Esta variable es utilizada por Hernández, Montiel y Pinedo (2010) para evaluar el comportamiento postcosecha del chile dulce (*Capsicum annum* L.) al aplicar fertilización química y lombricompost.

Dureza: Se seleccionó una muestra de tomates representativa de cada tratamiento según la productividad, a cada tomate se le tomó su medida utilizando un penetrómetro Chatillón de 100 newton (N) con punta cónica de 6,0 mm y se determinó el promedio por planta. Esta variable fue utilizada por Alfaro, Ascencio, María y Rivera (2013) para evaluar el efecto de programas de fertilización en la prolongación de vida en anaquel en el cultivo de tomate.

Conservación postcosecha: Se seleccionó una muestra de tomates representativa de cada tratamiento según la productividad. Los tomates no presentaban daños mecánicos, fisiológicos o fitopatológicos visibles y tenían igual porcentaje de maduración. Posteriormente se lavaron con agua destilada, se secaron con toallas y se almacenaron a temperatura ambiente.

Se determinaron las pérdidas de masa por actividad fisiológica (PMAF) en los frutos de tomate a los 7, 12 y 17 días postcosecha. Los cálculos se realizarán mediante la siguiente fórmula:

$$\text{PMAF} = \left(Mi - \frac{Mf}{Mi} \right) \times 100 \quad \text{donde:}$$

PMAF: Pérdidas de masa por actividad fisiológica (%)

Mi: Masa inicial del fruto en el momento de la cosecha

Mf: Masa final del fruto (correspondiente a la masa en cada evaluación)

Esta variable y metodología es utilizada por Velóz et al. (sf) en su ensayo para evaluar el efecto del zinc sobre la vida en anaquel del cultivo de tomate.

Aspecto: Se seleccionó una muestra de tomates representativa de cada tratamiento según la productividad (considerados de primera calidad) y se clasificó según su calibre. Además, se cuantificó la pérdida total y por tratamiento Esta clasificación estará basada en la norma de MAG-UCR-FITTACORI (2002) y Brenes et al. (2015).

Composición nutricional: Se seleccionó una muestra de tomates representativa de cada tratamiento según la productividad y se analizó para determinar (N, P, Ca, Mg, K, Cu, Fe, Zn, Mn, B, S). El análisis se realizó en el CIA- UCR. Esta variable es utilizada por Vrcek et al. (2011) en su ensayo para evaluar el efecto de injertos sobre propiedades químicas del tomate.

4.12 Análisis estadístico para la calidad de frutos

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta estudiada (dureza, pH y °Brix), se realizó un análisis de varianza (ANOVA). El modelo lineal para el experimento unifactorial fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

$$\text{con: } i = 1 \dots 8, \quad j = 1 \dots 10$$

Con

Y_{ijk} : variable de respuesta del i-ésimo tratamiento, j-ésimo tiempo de evaluación y la k-ésima repetición.

μ : media general

α_i : efecto de la i-ésimo tratamiento.

ε_{ijk} : término de error que se distribuye normal independiente con media cero y varianza constante.

Se comprobaron los supuestos del ANOVA con gráficos diagnósticos (cuantiles de los términos de error, gráficos de residuos y gráficos de residuos vs. predichos) y se escogió el mejor modelo en función de los criterios de Akaike (AIC) y de información Bayesiano (BIC). En las variables donde existan diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizó las comparaciones de medias por medio de la prueba de Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($p \leq 0.05$) permitiendo la formación de grupos excluyentes y no transición entre tratamientos.

Para las variables pérdida de masa por actividad fisiológica (PMAF), aspecto y composición nutricional se realizaron análisis descriptivos utilizando el programa Excel.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

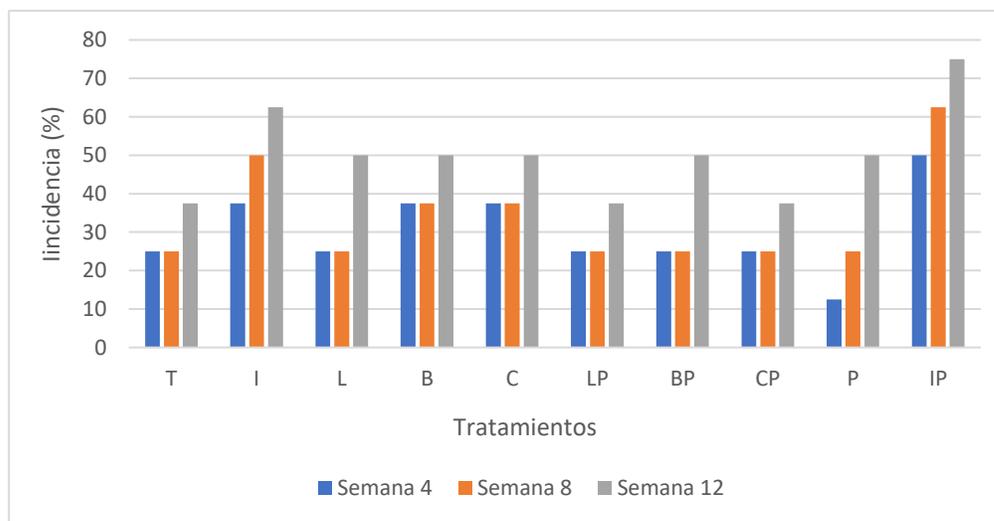
5.1 Problemas fitosanitarios

Presencia de tizón tardío.

A los 25 ddt se comenzaron a presentar problemas con la enfermedad conocida como tizón tardío provocada por el oomycete *P. infestans*. En la Figura 4 se observa la incidencia de la enfermedad en los diferentes tratamientos en tres semanas diferentes.

Figura 4

*Incidencia de la enfermedad *P. infestans* en los diferentes tratamientos según semana*



Nota. Evaluaciones de incidencia en la semana 4, 8 y 12 DDT, los tratamientos corresponden a lombricompost- *P. fluorescens* (LP), bocashi- *P. fluorescens* (BP), compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico- *P. fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I), testigo (T).

Todos los tratamientos presentaron problemas con la enfermedad, siendo las manejadas con fertilizantes sintéticos; tanto el tratamiento inorgánico (I) como el inorgánico- *P. fluorescens* (IP) las más afectadas. Esta situación provocó alteraciones en el desarrollo, productividad y calidad del cultivo. La presencia de la enfermedad provocó la pérdida de algunas plantas. En la Tabla 5 se observan las plantas perdidas en el transcurso del ensayo.

Tabla 5*Plantas perdidas por tratamiento debido a la presencia de P. infestans*

Tratamiento	Número de planta	ddt
Inorgánico (I)	3 - 4	57
Inorgánico (I)	6	67
Inorgánico- <i>P. fluorescens</i> (IP)	2	96

La presencia de *P. infestans* se debió a las condiciones climáticas desfavorables en las épocas de setiembre a noviembre del 2020, provocadas principalmente por el huracán Iota (La Nación, 2021) (Anexo 10). Lo antes mencionado provocó humedades relativas mucho más altas en el invernadero que favorecieron el desarrollo del fitopatógeno. En esta época se redujo la oferta de tomate en nuestro país debido a las malas condiciones climáticas, este desabastecimiento provocó que esta hortaliza alcanzara los precios más altos en el año. En el mes de octubre (fecha de siembra) el kg de tomate tenía un precio de ¢675, mientras que en noviembre-diciembre (fecha cosecha) alcanzó en promedio ¢1300 (Anexo 11) (Consejo Nacional de Productores [CNP], 2020).

Koizumi et al. (2017) presentaron resultados similares en sus investigaciones; las plantas de los tratamientos inorgánicos tuvieron mayor mortalidad en comparación con tratamientos orgánicos. También Agredo (2014) presentó mayores patologías como hongos e insectos en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) fertilizadas con N-P-K en comparación con plantas fertilizadas con bocashi y que plantas del tratamiento testigo. Por último, Koizumi et al. (2017), presentaron un aumento de 11% en la mortalidad de plantas de tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horn) al fertilizar con fuentes inorgánicas en comparación con fertilización con lombricompost.

Una hipótesis del porque estos tratamientos (IP, I) fueron más susceptibles al ataque de *P. infestans* se puede explicar mediante el término trofobiosis. El término trofobiosis fue propuesto por Chaboussou en el año 1987, él menciona que los fertilizantes de síntesis química altamente solubles modifican el metabolismo de la planta. Esto produce un enriquecimiento de los líquidos celulares o circulantes en azúcares solubles y aminoácidos libres, por lo tanto, las plantas son más propensas al ataque por plagas y enfermedades (Restrepo y Agredo, 2020).

Esta teoría es reforzada por Restrepo (2014), Restrepo y Agredo (2020), ellos mencionan que los fertilizantes inorgánicos causan desbalances en la planta y suelo, principalmente a los

microorganismos. Esto provoca una nutrición desequilibrada que genera aminoácidos libres en las hojas, los cuales son aprovechados por plagas y patógenos que generan problemas fitosanitarios en los cultivos.

Además, los tratamientos orgánicos favorecen un incremento de los microorganismos benéficos en el suelo, evitando el desarrollo de patógenos causantes de enfermedades. Este efecto se le conoce como suelo supresivo y se potencia con manejos ecológicos como la incorporación de bocashi y lombricompost (Araya, 2021).

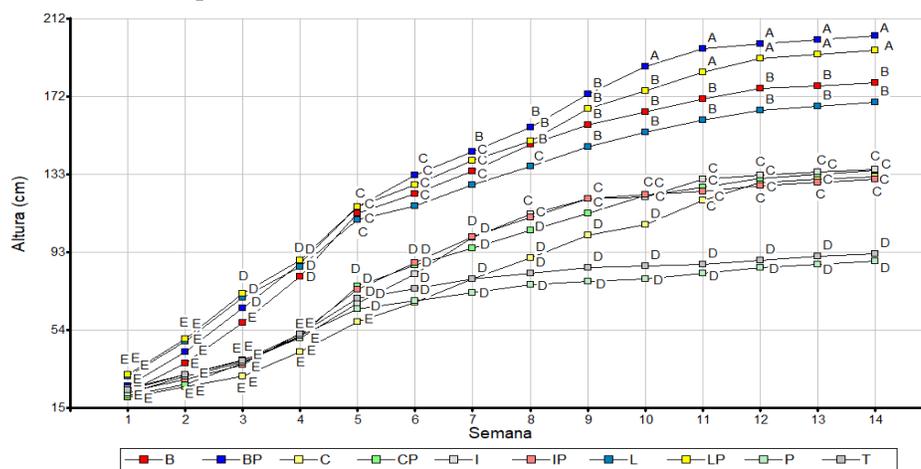
5.2 Desarrollo de las plantas

5.2.1 Altura

En la Figura 5 se puede observar el comportamiento en altura de las plantas de los diferentes tratamientos. En las semanas 1 y 2 todos los tratamientos se comportaban igual, es decir, las plantas tenían alturas estadísticamente similares. En la semana 3 se observó una diferencia ($p \leq 0.05$) entre dos grupos de tratamientos, siendo las plantas de los tratamientos lombricompost (L), lombricompost- *P. fluorescens* (LP) y bocashi- *P. fluorescens* (BP) las que tenían mayor altura ($p \leq 0.05$); para esta semana los tratamientos restantes se comportaban muy similares (sin diferencias significativas).

Figura 5

Altura por semana de las plantas de tomate



Nota. El gráfico compara la altura de las plantas en los diferentes tratamientos; lombricompost- *P. fluorescens* (LP), bocashi- *P. fluorescens* (BP), compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico- *P.*

fluorescens (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I), testigo (T). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$), Heredia, Costa Rica, 2022.

A partir de la semana 4 el tratamiento bocashi (B) también se diferenció ($p \leq 0.05$) junto con los tratamientos antes mencionados. Estas plantas con fertilización orgánica con y sin *P. fluorescens* a excepción de los tratamientos compost y compost- *P. fluorescens* (C, CP) eran en promedio 33,5 cm más altas en comparación con el resto de las plantas de los otros tratamientos. Estas tendencias continuaron con leves modificaciones hasta la semana 9 en donde se apreciaron tres grupos de tratamientos con diferencias significativas ($p \leq 0.05$) muy marcadas.

El primer grupo y con las mayores alturas correspondió a las fertilizadas con abonos orgánicos y *P. fluorescens* (BP, LP, B, L) (Figura 6). Estas plantas fueron en promedio 75,5 cm más altas que el tratamiento testigo, y 40,0 cm más altas que las de los tratamientos inorgánicos (I, IP). En la semana 10 el tratamiento bocashi- *P. fluorescens* (BP) se diferenció estadísticamente ($p \leq 0.05$) del resto de tratamientos orgánicos (LP, B, L). Siendo las plantas de este tratamiento 12,0 cm más altas en comparación con el segundo mejor tratamiento correspondiente a LP.

Desde la semana 11 hasta la 14 se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) a favor de las plantas inoculadas con *P. fluorescens* en los tratamientos bocashi y lombricompost (BP, LP). Es decir, las plantas fertilizadas con los abonos orgánicos bocashi y lombricompost e inoculadas con *P. fluorescens* correspondían a las más altas.

En la semana 14 se apreció que las plantas fertilizadas con abonos orgánicos y *P. fluorescens* (BP, LP, B, L) fueron en promedio 93,5 cm más altas que el tratamiento testigo (T) y 53,0 cm más altas que los tratamientos inorgánicos (IP, I). Mientras que las plantas inoculadas con *P. fluorescens* (BL, LP) fueron en promedio 24,0 cm más altas que las plantas fertilizadas sólo con abonos orgánicos (L, B).

El segundo grupo correspondió a las plantas fertilizadas con compost (C), compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico (I) e inorgánico- *P. fluorescens* (IP); estas plantas presentaron alturas estadísticamente similares. El tercer grupo de plantas fueron las del tratamiento testigo (T) y *P. fluorescens* (P), ambos con las plantas más pequeñas y estadísticamente similares entre ellos.

Figura 6

Diferencias en altura entre plantas de diferentes tratamientos



Nota. Diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en altura entre plantas del tratamiento testigo (T) y plantas manejadas con abonos orgánicos e inoculadas con *P. fluorescens* (BP, LP).

Algunos resultados similares a los obtenidos en esta investigación han sido descritos por, Naserzadeh et al. (2018), ellos realizaron un ensayo en donde compararon diferentes tratamientos. En el primer tratamiento inocularon plantas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) con diferentes cepas de *P. fluorescens*; en el segundo inocularon con *P. putida* y el tercero un tratamiento testigo (sin inocular). El ensayo concluyó que la inoculación con *P. putida* permite obtener plantas 1,78 cm más altas; mientras que la inoculación con *P. fluorescens* aumentó la altura en 0,7 cm en comparación con las plantas sin inocular.

En un ensayo realizado por Reyes et al. (2014), obtuvieron plantas de chile (*Capsicum chinense* Jacq.) 8,0 cm más altas a los 120 ddt al inocularlas con *Pseudomonas* spp., en comparación con el tratamiento testigo (sin inocular). Otro autor como, Castillo (2017) obtuvo plantas de chile 10,95 cm más altas al inocular con *P. fluorescens* cepa Avma en comparación con el tratamiento testigo (sin inocular).

También, Xavier (2021) concluyó que al utilizar lombricompost en dosis de 6.000 kg ha^{-1} se obtienen plantas más altas en comparación con el tratamiento testigo (solo suelo). Antomarchi et al. (2015), obtuvieron plantas de chile más altas utilizando $2,78 \text{ ton ha}^{-1}$ de bocashi en comparación con el tratamiento testigo (solo suelo). Murillo et al. (2015) utilizaron lombricompost

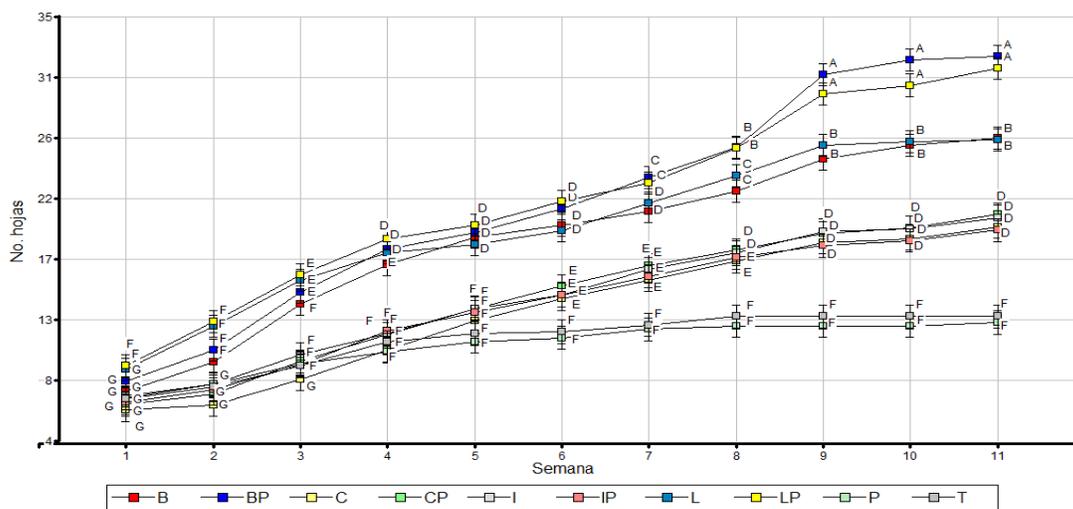
y obtuvieron plantas 27,0 cm más altas en comparación con el tratamiento testigo (solo suelo). Por último, Torres et al. (2018), evaluaron diferentes tratamientos orgánicos e inorgánico, las plantas fertilizadas con lombricompost fueron 8,0 cm más altas y 1,7 cm más de diámetro del tallo en comparación con las manejadas de manera inorgánica.

5.2.2 Número de hojas

En la Figura 7 se puede observar el comportamiento en número de hojas de las plantas de los diferentes tratamientos. Desde la semana 1 las plantas de los tratamientos con lombricompost se diferenciaron estadísticamente ($p \leq 0.05$). Estas plantas tenían en promedio 2 hojas más en comparación con las plantas del tratamiento testigo (T). Todas las plantas de los tratamientos restantes se comportaban igual, es decir, las plantas tenían números de hojas estadísticamente similares.

Figura 7

Número de hojas por semana de las plantas de tomate



Nota. El gráfico compara el número de hojas de las plantas en los diferentes tratamientos; lombricompost-*P. fluorescens* (LP), bocashi-*P. fluorescens* (BP), compost-*P. fluorescens* (CP), inorgánico-*P. fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I), testigo (T). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$), Heredia, Costa Rica, 2022.

En la semana 2 se observó una diferencia ($p < 0.05$) entre dos grupos de tratamientos, siendo las plantas fertilizadas con abonos orgánicos (B, L) y abonos orgánicos- *P. fluorescens* (BP, LP)

las que más hojas tenían (Figura 8). Las plantas de estos tratamientos (BP, LP, B, L) tenían 4 hojas más que las plantas de los tratamientos restantes.

Estas tendencias continuaron muy similares hasta la semana 6. En esta semana los tratamientos orgánicos solos e inoculados con *P. fluorescens* (BP, LP, B, L) presentaron en promedio 5 hojas más que las plantas de los tratamientos (C, CP, I, IP), y 8 hojas más que los tratamientos (T, P). A partir de la sexta semana se lograron apreciar tres grupos de tratamientos con diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) muy marcadas.

El primero grupo que presentó plantas con el mayor número de hojas fueron las fertilizadas con abonos orgánicos (B, L) y abonos orgánicos- *P. fluorescens* (BP, LP). Desde la semana 7 y hasta la 11 se pudo observar que los tratamientos con abonos orgánicos- *P. fluorescens* (BP, LP) se diferencian ($p \leq 0.05$) de todos los tratamientos, siendo las plantas con el mayor número de hojas. En la semana 7 estas plantas tenían en promedio 2 hojas más que las fertilizadas con abonos orgánicos sin inocular (L, B), y 10 hojas más que las del tratamiento testigo (T). Es decir, las plantas fertilizadas con los abonos orgánicos bocashi y lombricompost e inoculadas con *P. fluorescens* (BP, LP) presentaron mayor cantidad de hojas ($p < 0.05$).

En la última semana evaluada, las plantas de los tratamientos bocashi- *P. fluorescens* y lombricompost- *P. fluorescens* (BP, LP) tenían en promedio 5 hojas más que las fertilizadas con bocashi y lombricompost, sin inocular (B, L), 11 hojas más que las manejadas con fertilizantes inorgánicos (I, IP) y 18 hojas más que las del tratamiento testigo (T).

El segundo grupo correspondió a las plantas fertilizadas con compost (C), compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico (I) e inorgánico- *P. fluorescens* (IP); estas plantas presentaron número de hojas estadísticamente similares. Por último, el grupo conformado por las plantas del tratamiento testigo (T) y *P. fluorescens* (P), ambos tratamientos tenían plantas con el menor número de hojas y estadísticamente similares entre sí.

Figura 8

Diferencias en número de hojas entre plantas de diferentes tratamientos



Nota. Diferencias significativas en número de hojas entre plantas del tratamiento testigo (T) y plantas manejadas con abonos orgánicos e inoculadas con *P. fluorescens* (BP, LP).

Algunos resultados similares a los obtenidos en esta investigación se mencionan a continuación, Aguirre y Espinosa (2016) obtuvieron plantas de chile (*C. annuum* L.) con 2, 6 y 7 hojas más a los 28, 56 y 84 dds respectivamente, al inocular con una cepa de *P. fluorescens* en comparación con el tratamiento testigo (sin inocular).

Castillo (2017) evaluó el efecto de la inoculación con diferentes rizobacterias en el cultivo de chile. En sus resultados encontró que el peso seco de hojas y tallo aumentó en 0,13 g al inocular con *P. fluorescens* cepa Avma en comparación con el tratamiento testigo (sin inocular); mientras que el área foliar aumentó en 41,22 cm². Otros autores como, Madriz et al. (2022) evaluaron el efecto de la inoculación con *B. subtilis* + *P. fluorescens* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). En la semana 7 las plantas inoculadas con las bacterias tenían 4 hojas más en comparación con las plantas del tratamiento testigo (sin inocular).

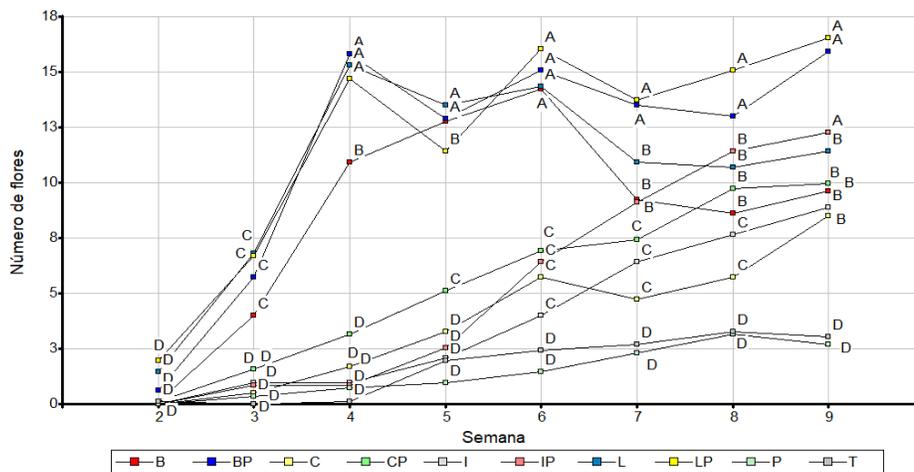
También, Torres et al. (2018) evaluaron diferentes tratamientos orgánicos e inorgánico, las plantas fertilizadas con lombricompost tenían 11 hojas más en comparación con las manejadas de manera inorgánica. Por último, Cayuba et al. (2021) lograron obtener plantas con 18 hojas más utilizando abonos orgánicos en comparación con el tratamiento testigo (sin fertilizar).

5.2.3 Número de flores

En la Figura 9 se puede observar el comportamiento en número de flores de las plantas de los diferentes tratamientos. Las primeras diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos ocurrieron en la semana 3. En esta semana cuatro tratamientos presentaron el mayor número de flores, siendo las plantas de los tratamientos lombricompost- *P. fluorescens* (LP), lombricompost (L), bocashi (B) y bocashi- *P. fluorescens* (BP) las que más flores tenían.

Figura 9

Número de flores por semana de las plantas de tomate



Nota. El gráfico compara el número de flores de las plantas en los diferentes tratamientos; lombricompost-*P. fluorescens* (LP), bocashi-*P. fluorescens* (BP), compost-*P. fluorescens* (CP), inorgánico-*P. fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I), testigo (T). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$), Heredia, Costa Rica, 2022.

En la semana 4 se diferencian ($p \leq 0.05$) los tratamientos lombricompost- *P. fluorescens* (LP), lombricompost (L) y bocashi- *P. fluorescens* (BP). Estos tratamientos tenían en promedio 16 flores/planta. Las plantas fertilizadas con bocashi (B) también presentaban diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en comparación con los tratamientos restantes. En esta misma semana, las plantas con menor número de flores fueron las de los tratamientos compost- *P. fluorescens* (CP), compost (C), inorgánico- *P. fluorescens* (IP), inorgánico (I), *P. fluorescens* (P) y testigo (T), sin diferencias estadísticas entre ellos. Estos tratamientos tenían en promedio 2 flores/planta.

Se puede observar una tendencia en los resultados que van desde la semana 3 hasta la semana 6 ($p \leq 0.05$). Se diferencian dos grupos de tratamientos. El primer grupo y con el mayor

número de flores por planta corresponde a los tratamientos manejados con abonos orgánicos e inoculados con bocashi y lombricompost (LP, BP, L, B). El segundo grupo y con menor número de flores corresponde a los tratamientos restantes (CP, C, IP, I, P, T). En la semana 6 se observa que las plantas de los tratamientos (P, T) son las que menos flores presentan.

En la semana 7 se diferencian estadísticamente ($p \leq 0.05$) cuatro grupos de tratamientos. La mayor cantidad de flores correspondiente a las plantas de los tratamientos lombricompost- *P. fluorescens* (LP) y bocashi- *P. fluorescens* (BP). En el segundo grupo se encontraban las plantas de los tratamientos lombricompost (L), bocashi (B) e inorgánico- *P. fluorescens* (IP). En el tercer grupo las plantas de los tratamientos compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico (I) y compost (C). Por último, y con el menor número de flores se encontraban las plantas de los tratamientos *P. fluorescens* (P) y testigo (T).

En esa misma semana, las plantas de los tratamientos lombricompost- *P. fluorescens* (LP) y bocashi- *P. fluorescens* (BP) tenían en promedio 4 flores más que las plantas de los tratamientos (L, B, IP), 8 flores más que las de los tratamientos (CP, C, I) y 11 flores más que las de los tratamientos (T, P).

En la semana 8 hay resultados muy similares con algunos pequeños cambios producto de que algunas flores pasaban a cuajarse y formar el fruto. Las plantas de los tratamientos lombricompost- *P. fluorescens* (LP) y bocashi- *P. fluorescens* (BP) son las que tenían mayor número de flores ($p \leq 0.05$). En segundo lugar, se encontraban las plantas de los tratamientos inorgánico- *P. fluorescens* (IP), lombricompost (L), compost- *P. fluorescens* (CP) y bocashi (B). En el tercer grupo las plantas de los tratamientos inorgánico (I) y compost (C). Las plantas que presentaron el menor número de flores correspondieron a los tratamientos *P. fluorescens* (P) y testigo (T).

En la última semana evaluada se observan tres grupos de tratamientos, siendo las plantas manejadas con los abonos bocashi y lombricompost e inoculadas con la bacteria las que más flores presentan (BP, LP) ($p \leq 0.05$). El segundo grupo conformado por las plantas de los tratamientos inorgánico- *P. fluorescens* (IP), bocashi (B), compost *P. fluorescens* (CP), lombricompost (L) y compost (C) e inorgánico (I). El último grupo de tratamientos compuesto por las plantas testigo (T) y *P. fluorescens* (P).

En resumen, las plantas de los tratamientos lombricompost- *P. fluorescens* (LP) y bocashi- *P. fluorescens* (BP) son las que presentaron más flores a lo largo de todas las semanas; diferenciándose estadísticamente ($p \leq 0.05$) de los otros tratamientos en las semanas 7, 8 y 9. Se puede observar que la inoculación con la bacteria junto con los abonos orgánicos lombricompost y bocashi (LP, BP) si favoreció una mayor cantidad de flores por planta.

Algunos resultados similares a los obtenidos en esta investigación han sido descritos por, Reyes et al. (2014), ellos evaluaron la biomasa seca de flores de chile habanero inoculando con *Pseudomonas* spp. Los resultados demuestran un aumento de 1,6 g en la biomasa seca de flores al inocular con la bacteria en comparación con plantas sin inocular

Otros tratamientos que presentaron plantas con alto porcentaje de flores y estadísticamente superiores ($p \leq 0.05$) hasta la semana 6 fueron los fertilizados con los abonos orgánicos lombricompost y bocashi (L, B).

Koizumi et al. (2017), obtuvieron 11 flores más en las plantas manejadas con lombricompost en comparación con las plantas fertilizadas de manera inorgánica. Cayuba et al. (2021) obtuvieron plantas de tomate con 3 flores más utilizando lombricompost en comparación con el tratamiento testigo (sin fertilizar).

También se puede observar un mayor número de flores por planta desde la semana 6 y hasta la 9 en el tratamiento inorgánico inoculado con la bacteria (IP) en comparación con el tratamiento inorgánico sin inocular (I) ($p \leq 0.05$). Es decir, la inoculación con *P. fluorescens* en el tratamiento inorgánico permitió aumentar la cantidad de flores por planta. Este resultado difiere de los anteriores en donde no se aprecian diferencias en altura y número de hojas entre el tratamiento inorgánico (I) e inorgánico- *P. fluorescens* (IP).

En los resultados de altura, número de hojas y flores se puede observar que las plantas inoculadas con *P. fluorescens* y fertilizadas con abonos orgánicos bocashi y lombricompost (BP, LP) son más altas y tienen mayor cantidad de hojas y flores. Este resultado se debe principalmente a que *P. fluorescens* segrega fitohormonas como giberelinas, auxinas (principalmente ácido indol-3-acético (AIA)), citoquininas, ácidos húmicos, los cuales promueven el crecimiento vegetal (Alemu, 2016).

Otro mecanismo por el cual esta bacteria estimula el crecimiento y desarrollo es debido a la mineralización y solubilización de nutrientes, principalmente fósforo orgánico (Braga, 2015). Es decir, los biofertilizantes lombricompost y bocashi presentaron porcentajes importantes de nutrientes en formas no disponibles los cuales la bacteria posiblemente mineralizó- solubilizó y posteriormente fueron utilizados por las plantas.

Según Park et al. (2015), la bacteria *P. fluorescens* libera compuestos orgánicos volátiles (COV) que estimulan el crecimiento de plantas. Los principales compuestos volátiles relacionados con el desarrollo vegetal son, 13-Tetradecadien-1-ol, 2-butanona y 2-Methyl-n-1-tridecene. Es importante mencionar que los beneficios de la bacteria se producen si se logra desarrollar en un suelo con suficiente materia orgánica (Álvarez et al., 2020; Saino, 2020). Los abonos orgánicos lombricompost y bocashi en dosis de 20% propiciaron un buen ambiente para el desarrollo de *P. fluorescens*.

Las plantas fertilizadas con los abonos orgánicos bocashi y lombricompost sin inocular con *P. fluorescens* (L, B) también presentaron alturas y número de hojas mayores al resto de los tratamientos. El número de flores en estos tratamientos también fue superior hasta la semana 6. A partir de esa semana los tratamientos restantes a excepción del *P. fluorescens* (P) y el testigo (T) fueron estadísticamente similares.

El bocashi y el lombricompost son considerados abonos orgánicos aptos porque presentan una alta microbiota como hongos, bacterias y actinomicetos, los cuales solubilizan nutrientes y promueven el crecimiento vegetal (INTA, 2016; Ramos y Terry, 2014). Estos biofertilizantes brindan nutrientes a la planta y mejoran las características físico- químicas del suelo, favoreciendo así la presencia de microorganismos benéficos para el cultivo (Antomarchi et al., 2017).

Los abonos orgánicos utilizados representan una fuente microbiológica debido a las materias primas utilizadas y a la diversidad de microorganismos que participan en el proceso de mineralización (INTA, 2016). Además, la inoculación con *P. fluorescens* aumenta esa diversidad microbiológica propia de los abonos orgánicos y promueve el crecimiento vegetal.

En los resultados se puede apreciar que la bacteria *P. fluorescens* no logró influir en el desarrollo de las plantas cuando se combinó con el abono orgánico denominado compost (CP), en el suelo fertilizado de manera inorgánica (IP) (en el inorgánico si influyó en el aumento de las

flores), y tampoco en el tratamiento sin ningún tipo de fertilización (P). Estos resultados se podrían relacionar con las condiciones de estos sustratos, las cuales no fueron las ideales para una adecuada colonización e influencia de la bacteria.

Según Carillo et al. (2000) pueden ser una serie de factores que dificultan la sobrevivencia de una bacteria promotora de crecimiento en un medio. Algunas de ellas son, competencia con microorganismos nativos, condiciones nutricionales, acidez, temperatura, poca materia orgánica, relación carbono: nitrógeno (C:N).

Una de las principales hipótesis que podría explicar la ausencia o inhibición de *P. fluorescens* en el abono orgánico denominado compost es la relación C:N. De los tres abonos orgánicos evaluados el que presentó una mayor relación C:N fue el compost (20.5:1) (Tabla 4). Según Claude (2018) la relación C:N ideal para que una bacteria pueda sobrevivir y realizar una adecuada mineralización es de alrededor de 5:1. También Gamarra et al. (2018) dicen que la relación ideal va de 10:1 a 14:1. Estos valores permiten una adecuada mineralización y ruptura de tejidos rápida, ya que la actividad microbiana se estimula. Es decir, hay nutrientes suficientes para los microorganismos y para las plantas.

Soto et al. (2016) menciona que relaciones mayores a 15 provocan que la liberación de nitrógeno sea muy escasa debido a la dificultad de los microorganismos (especialmente bacterias) para romper esas moléculas y acceder al nitrógeno. Barreros (2017) informa que si la relación C:N es mayor a 40 la actividad biológica disminuye, debido a que los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono.

La relación C:N del abono denominado compost (C) pudo haber provocado que los grupos de microorganismos y *P. fluorescens* no tuvieran una adecuada sobrevivencia y colonización. Esto refleja la causa del porqué las plantas del tratamiento compost- *P. fluorescens* (CP) no se diferenciaron estadísticamente de las plantas del tratamiento compost (C).

La bacteria tampoco causó ningún efecto en altura y número de hojas cuando se combinó con el fertilizante inorgánico (IP). Según Restrepo y Agredo (2020) los fertilizantes inorgánicos pueden alterar características químicas del suelo como temperatura, pH y conductividad eléctrica. Además, provocar salinización y un medio de alta oxidación que afecta el desarrollo y la sobrevivencia de microorganismos. Resultados similares los obtuvo Moreno Del Villar (2010), este

autor estimó menos respiración microbiana en sustratos con fertilización mineral a diferencia de altas tasas de respiración en sustratos con materia orgánica.

Sin embargo, difiere de los hallazgos de Reyes et al. (2018) y Quilismal et al. (2021), ellos concluyeron que algunos microorganismos pueden asociarse con fertilizantes inorgánicos de manera exitosa y así reducir su uso. Conforto et al. (2012) mencionan que una fertilización inorgánica balanceada va a permitir un incremento de exudados radicales, lo que va a promover el aumento de la biomasa microbiana y la actividad metabólica de los microorganismos. Otra de las causas del poco desarrollo (altura y número de hojas) de estas plantas (IP) podría ser la alta incidencia de *P. infestans* que pudo haber provocado un efecto antagónico sobre *P. fluorescens*.

Los resultados obtenidos también demuestran que la bacteria no sobrevivió a la inoculación en el suelo sin abonos orgánicos ni fertilizantes inorgánicos (Tratamiento P). Una hipótesis es el bajo porcentaje de materia orgánica del suelo utilizado y dificulta la sobrevivencia de *P. fluorescens* (Perotti et al., 2005, Saino, 2020).

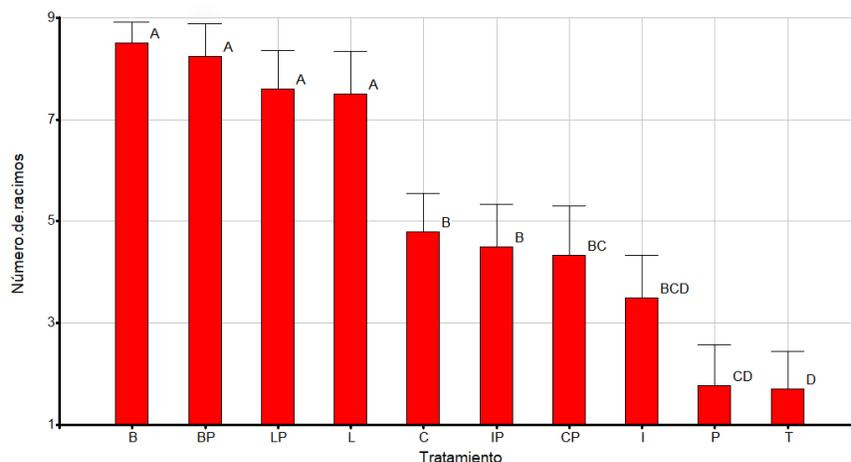
5.3 Productividad

5.3.1 Número de racimos

En la Figura 10 se observa el número de racimos por planta al final del ciclo productivo. El número de racimos fue numéricamente mayor en las plantas fertilizadas con bocashi (B, BP) en comparación de las fertilizadas con lombricompost (L, LP). Sin embargo, no existen diferencias estadísticas significativas entre estos tratamientos.

Figura 10

Número de racimos por planta según tratamiento



Nota. El gráfico compara el número de racimos de las plantas en los diferentes tratamientos; lombricompost-*pseudomonas fluorescens* (LP), bocashi-*pseudomonas fluorescens* (BP), compost-*pseudomonas fluorescens* (CP), inorgánico-*pseudomonas fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I), testigo (T). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2022.

Se observa que las plantas de los tratamientos fertilizados con abonos orgánicos bocashi y lombricompost con y sin inocular (B, BP, LP, L) (Figura 11) son las que presentan mayor cantidad de racimos ($p \leq 0,05$). La inoculación con la bacteria *P. fluorescens* en los abonos orgánicos no aumentó el número de racimos.

Las plantas manejadas con los abonos orgánicos bocashi y lombricompost con y sin inocular (B, BP, LP, L) tenían en promedio 6 racimos más ($p \leq 0,05$) en comparación con el tratamiento testigo (T). Esto concuerda con los resultados de Antomarchi et al. (2017), ellos obtuvieron 1 racimo más por planta al aplicar bocashi en dosis de $2,99 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ en comparación con las plantas sin fertilizar.

Por otro lado, Atoccsa y Barrios (2018) lograron obtener 5 racimos más por planta al manejar con fertilizantes orgánicos como té de estiércol y purín de ortiga en comparación con el tratamiento testigo (sin fertilizar). Por último, Ruiz et al. (2021) obtuvieron 6 racimos más por planta al fertilizar con biosólidos (a base de boñiga) en comparación con el tratamiento testigo (sin fertilizar).

Las plantas de los tratamientos (B, BP, LP, L) presentaron en promedio 4 racimos más ($p \leq 0.05$) en comparación con las plantas manejadas con fertilizantes inorgánicos (IP, I).

Las plantas fertilizadas de manera inorgánica contaban con el 100% de los nutrientes requeridos para una óptima formación de los racimos, sin embargo, la producción fue menor en comparación con los tratamientos orgánicos (LP, BP, L, B) debido a la incidencia de *P. infestans* (Figura 4). Las plantas de los tratamientos inorgánicos (IP, I) tenían en promedio 2 racimos más que las del tratamiento testigo (T) ($p \leq 0.05$), resultados que concuerdan con ensayos realizados por Ruiz et al. (2021), que obtuvieron 5 racimos más por planta en el tratamiento inorgánico en comparación con el tratamiento testigo (sin fertilizar).

Las plantas de los tratamientos orgánicos (CP, C) se diferencian estadísticamente ($p \leq 0.05$) del tratamiento testigo (T), estas plantas tenían en promedio 3 racimos más. Mientras que los tratamientos inorgánicos (IP, I) y orgánicos (CP, C) no se diferenciaron entre ellos. Resultados similares a los de Ruiz et al. (2021), ellos obtuvieron 12 racimos por planta en el tratamiento inorgánico y 13 racimos por planta en el tratamiento orgánico (biosólidos); estos tratamientos no se diferenciaron estadísticamente entre sí.

Figura 11

Diferencias en el número de racimos en los diferentes tratamientos



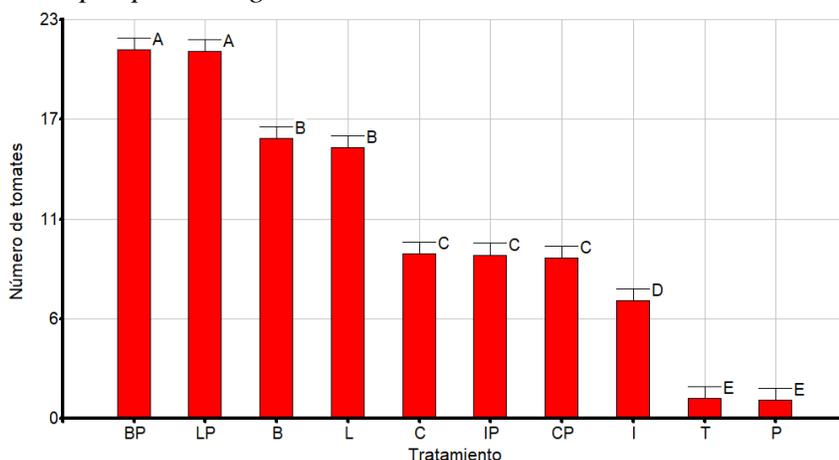
Nota. Las plantas con más racimos corresponden a las fertilizadas con abonos orgánicos, con y sin inocular con la bacteria (LP, BP, L, B).

5.3.2 Número de tomates

En la Figura 12 se muestra el número de tomates por planta según el tipo de fertilización. Las plantas manejadas con los abonos orgánicos bocashi y lombricompost e inoculadas con *P. fluorescens* (LP, BP) son las que se diferenciaron estadísticamente ($p \leq 0.05$) de los otros tratamientos. Cada planta tenía en promedio 21 frutos, además, tenían en promedio 19 frutos más que las plantas del tratamiento testigo (T) y 12 frutos más que las del tratamiento inorgánico (IP, I).

Figura 12

Número de tomates por planta según tratamiento



Nota. El gráfico compara el número de tomates por planta en los diferentes tratamientos; lombricompost-*pseudomonas fluorescens* (LP), bocashi-*pseudomonas fluorescens* (BP), compost-*pseudomonas fluorescens* (CP), inorgánico-*pseudomonas fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I), testigo (T). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2022.

Los tratamientos orgánicos inoculados (LP, BP) tenían en promedio 5 frutos más por planta en comparación con las plantas de los tratamientos orgánicos sin inocular (L, B) ($p \leq 0.05$). Es decir, la inoculación con *P. fluorescens* en los abonos orgánicos bocashi y lombricompost aumentó en un 24,0% el número de frutos por planta.

Las fitohormonas IA, GA3 y Citoquininas presentes y reportadas por diferentes autores (Murillo et al., 2016) en los abonos orgánicos como el bocashi- lombricompost y segregadas por la bacteria *P. fluorescens* generan cambios metabólicos y fisiológicos favorables en la producción

de flores, por ende, una mayor cantidad de frutos cuajados. También, la bacteria *P. fluorescens* al ser solubilizadora de fósforo permite una mayor cantidad de fósforo asimilable. El fósforo juega un papel importante en la formación de flores, cuajado de frutos, en procesos de utilización de azúcar y almidón, fotosíntesis, división celular (Nikfarjam y Aminpanah, 2015). Lo anterior explica el aumento en el número de frutos en los tratamientos inoculados (LP, BP).

Otros tratamientos que presentaron cantidades de tomates mayores fueron los de abonos orgánicos bocashi y lombricompost (B, L). Estas plantas tenían en promedio 15 frutos. Presentaron en promedio 8 frutos más en comparación con los tratamientos inorgánicos (IP, I) ($p \leq 0.05$). También tenían en promedio 15 frutos más por planta en comparación con las plantas sin fertilizar (T) ($p \leq 0.05$). Resultados similares fueron descritos por,

Gómez (2013) realizó fertilizaciones con bocashi en plantas de tomate y obtuvieron 59 frutos/planta, mientras que las fertilizadas con fuentes inorgánicas produjeron 36 frutos/planta. Un aumento del 36% en las plantas manejadas con abono orgánicos tipo bocashi. También, Antomarchi et al. (2017) obtuvieron 7 frutos más al utilizar bocashi en dosis de $2,99 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ en comparación con las plantas sin ningún tipo de fertilización.

Las plantas manejadas con compost (CP, C) produjeron cantidades de tomates similares, sin diferencias estadísticas entre ellas. Estas plantas tenían en promedio 9 frutos. Es decir, la bacteria no generó un efecto en el número de tomates por planta cuando se combinó con compost. Resultados similares a los descritos anteriormente en las variables de desarrollo. Las plantas de estos tratamientos (CP, C) desarrollaron en promedio 7 frutos más en comparación con las plantas del tratamiento testigo (sin fertilizar) ($p \leq 0.05$).

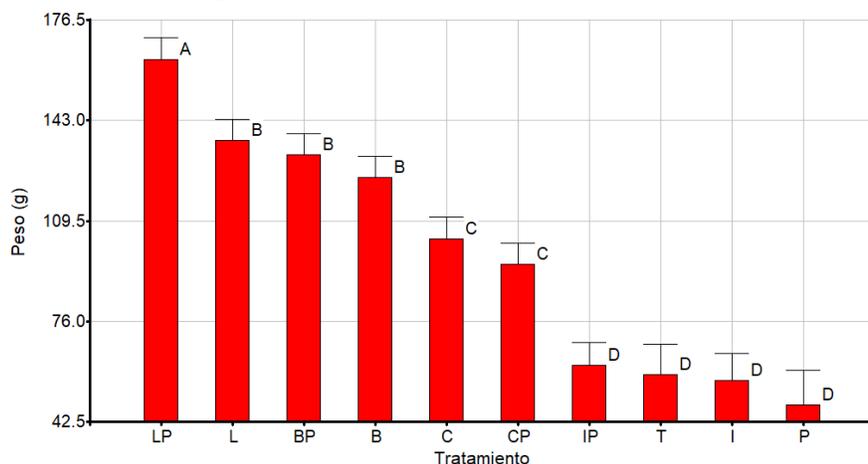
Por último, las plantas manejadas con insumos inorgánicos (IP, I) se diferenciaron estadísticamente ($p < 0.05$) entre sí. Las plantas inoculadas con la bacteria (IP) tenían en promedio 2 frutos más en comparación con las plantas sin inocular (I). Las plantas de estos tratamientos (IP, I) tenían en promedio 6 frutos más en comparación con las plantas del tratamiento testigo (sin fertilizar) ($p \leq 0.05$).

5.3.3 Peso de los tomates

En la Figura 13 se pueden observar los resultados de peso de los frutos de tomate según tratamiento. Los frutos en todos los tratamientos fueron menos pesados en relación con los pesos teóricos de la variedad JR (200-250g). Esto debido a la presencia de *P. infestans*, la enfermedad provoca alteraciones fisiológicas y morfológicas en las plantas. Esta situación genera una maduración prematura de los frutos debido a la síntesis de etileno ante condiciones de estrés (Iguarán y Alzate, 2014). Lo antes mencionado ocasiona que los frutos no expresen su mayor tamaño.

Figura 13

Peso de los frutos de tomates por planta según tratamiento



Nota. El gráfico compara el peso de los tomates en los diferentes tratamientos; lombricompost-*P. fluorescens* (LP), bocashi-*P. fluorescens* (BP), compost-*P. fluorescens* (CP), inorgánico-*P. fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I), testigo (T). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2022.

Los frutos más pesados correspondieron a las plantas fertilizadas con lombricompost e inoculadas con *P. fluorescens* (LP), este tratamiento se diferenció estadísticamente ($p \leq 0,05$) de todos los otros tratamientos. Los frutos tenían pesos promedio de 150,0 g. Además, los frutos fueron en promedio 90,8 g más pesados que los frutos del tratamiento testigo (T), y 90,2 g más pesados que los fertilizados de manera inorgánica (IP, I). Los frutos del tratamiento (LP) eran en promedio 13,0 g más pesados en comparación con los frutos sin inocular (L) (Figura 14).

Figura 14

Diferencias en peso entre frutos del tratamiento LP – L



Nota. Los frutos corresponden a los manejados con lombricompost, en la parte de arriba de la figura izquierda se ubican los inoculados con *P. fluorescens*, mientras que, en la parte baja los fertilizados únicamente con el abono. En la figura de la derecha se observan diferencias de tamaño entre los frutos.

La bacteria *P. fluorescens* se caracteriza por producir sustancias de tipo hormonal como auxinas, citoquininas y giberelinas, estas sustancias estimulan el crecimiento vegetal y el desarrollo de frutos. Los resultados obtenidos concuerdan con lo mencionado por Pérez Negrón (2012) y Saino (2020) cuando dicen que los reguladores de crecimiento como giberelinas segregadas por bacterias como *P. fluorescens* son responsables de la expansión celular, esto repercute en frutos más pesados.

La bacteria también pudo haber favorecido la mineralización y solubilización de nutrientes necesarios para el desarrollo del fruto y disponibles de forma no asimilable por la planta en el abono orgánico lombricompost (Murillo et al., 2016).

Algunos resultados similares han sido publicados por Reyes et al. (2014), ellos evaluaron la biomasa seca del fruto de chile habanero inoculando con *Pseudomonas* spp. Los autores determinaron un aumento de 20,3 g en la biomasa seca del fruto al inocular con la bacteria en comparación con plantas sin inocular.

Arseneault et al. (2015), aumentaron en un 46% el peso total del tubérculo de papa utilizando una cepa de *P. fluorescens*, aplicándola de manera quincenal, en comparación con una aplicación única y con un tratamiento testigo (sin aplicación).

La bacteria *P. fluorescens* no aumentó el peso de los frutos cuando se combinó con bocashi. Es decir, no existen diferencias significativas entre los tratamientos bocashi (B) y bocashi - *P. fluorescens* (BP). Una hipótesis de este resultado fue la ausencia de nutrientes no asimilables en el bocashi, y que imposibilitaron la mineralización y solubilización de elementos necesarios para la formación de la pared celular del fruto por parte de *P. fluorescens*.

Además, los frutos fertilizados con los abonos orgánicos lombricompost y bocashi con y sin inocular con *P. fluorescens* (L, B, BP) pesaban en promedio 129,1 g. Los frutos tenían en promedio 70,9 g más de peso en comparación con los del tratamiento testigo (T) ($p < 0.05$). Estas plantas también tenían frutos en promedio 70,3 g más pesados que los frutos manejados con fertilizantes inorgánicos (IP, I) ($p < 0.05$). Los resultados a favor de los tratamientos (L, B, BP) están relacionados con una estimulación en la síntesis de diversos metabolitos, favoreciendo la acumulación de biomasa en los frutos (Murillo et al., 2016).

Algunos autores han obtenido resultados similares, por ejemplo, Murillo et al. (2015), fertilizaron con lombricompost y obtuvieron frutos de tomate 62,0 g más pesados que los frutos de las plantas sin fertilizar. Reyes (2018) obtuvo frutos de mayor peso utilizando lombricompost y jacinto de agua, en comparación con los frutos producto de la fertilización inorgánica. Estos frutos eran en promedio 64,5 g más pesados.

Estos resultados difieren de los obtenidos por Pérez- Negrón (2012), ellos concluyeron en un ensayo que no existen diferencias significativas en el peso final de los frutos fertilizados con lombricompost y fuentes inorgánicas.

El peso de los frutos de los tratamientos inorgánicos (IP, I) no se diferenciaron estadísticamente entre sí. Los frutos de estos tratamientos tenían pesos promedios de 58,8 g. Además, estos tratamientos inorgánicos tampoco se diferenciaron estadísticamente de los pesos de los tomates de las plantas sin fertilizar (T), ni de las plantas inoculadas únicamente con la bacteria (P). Los frutos del tratamiento testigo tenía pesos promedio de 58,3 g, mientras que los del tratamiento (P) pesos promedios de 48,2 g.

En la Tabla 6 se puede observar el rendimiento promedio·ha⁻¹ en cada uno de los tratamientos, tomando en cuenta los datos promedio de número de tomates y peso de los tomates.

Tabla 6

Rendimientos por ha (15000 plantas)

Tratamiento	t·ha⁻¹
Testigo (T)	1,1
<i>P. fluorescens</i> (P)	0,8
Inorgánico (I)	5,7
Inorgánico + <i>P. fluorescens</i> (IP)	7,5
Lombricompost (L)	31,4
Lombricompost + <i>P. fluorescens</i> (LP)	46,4
Bocashi (B)	28,5
Bocashi + <i>P. fluorescens</i> (BP)	41,2
Compost (C)	14,6
Compost + <i>P. fluorescens</i> (CP)	13,0

Las 8 plantas fertilizadas con el abono orgánico lombricompost e inoculadas con *P. fluorescens* (LP) tuvieron un rendimiento promedio de 24,7 kg; en promedio 3,1 kg por planta. Por lo que proyectando una ha de 15.000 plantas se puede inferir que llegaría a producir cerca de 46,4 ton de tomates en un periodo de 3,5 meses.

Por otra parte, el rendimiento promedio en el tratamiento manejado únicamente con lombricompost correspondió a 31,4 ton·ha⁻¹. Es decir, la inoculación con *P. fluorescens* aumentó en 15 t·ha⁻¹ el rendimiento del cultivo; esto corresponde a un aumento del 32,3%. Los resultados concuerdan con los de Nikfarjam y Aminpanah (2015), ellos aumentaron en un 65% el rendimiento en el cultivo de *Vicia faba* L. inoculando con *P. fluorescens* en comparación con el tratamiento testigo (sin inocular).

Estos resultados positivos a favor del lombricompost se debe a que presenta porcentajes altos de microorganismos promotores de crecimiento vegetal. Según Durán y Henríquez (2007), los grupos de microorganismos y las concentraciones más comunes en este abono orgánico son: Bacterias (8,6 x10⁷), actinos (2,2 x10⁶) y hongos (5,1 x10⁴). Estas altas concentraciones de

microorganismos, sumado a la inoculación de *P. fluorescens* provocaron el aumento en el rendimiento.

El rendimiento promedio del tratamiento testigo correspondió a $1,1 \text{ t ha}^{-1}$, es decir, las plantas manejadas con lombricompost e inoculadas con la bacteria (LP) aumentaron en $45,3 \text{ ton ha}^{-1}$ el rendimiento del cultivo. La fertilización con este abono orgánico en conjunto con *P. fluorescens* aumentó en un 97,6% el rendimiento en comparación con el tratamiento testigo (sin fertilizar).

Las 16 plantas de los tratamientos inorgánicos (I, IP) tuvieron un rendimiento promedio de 7,0 kg; en promedio 438,0 g por planta. Una ha de 15.000 plantas puede producir cerca de 6,6 t de tomates en un periodo de 3,5 meses. Es decir, las plantas manejadas con lombricompost e inoculadas con *P. fluorescens* (LP) tuvieron en promedio $39,8 \text{ t ha}^{-1}$ más en comparación con los tratamientos inorgánicos (IP, I); esto corresponde a un aumento en el rendimiento del 85,8%.

El rendimiento promedio de las plantas manejadas con bocashi e inoculadas con *P. fluorescens* (BP) correspondió a $41,2 \text{ ton ha}^{-1}$; mientras que el rendimiento de las plantas fertilizadas únicamente con bocashi (B) correspondió a $28,5 \text{ ton ha}^{-1}$. Es decir, la inoculación con *P. fluorescens* en el abono orgánico bocashi aumentó en $12,7 \text{ t ha}^{-1}$ el rendimiento del cultivo, esto corresponde a un aumento del 30,83%.

Resultados similares a los obtenidos han sido descritos por Vio et al. (2017) al aplicar *P. fluorescens* al trasplante lograron un incremento de 7,28% en el rendimiento total del cultivo de tomate en comparación con el tratamiento sin ningún tipo de aplicación.

Según Romero y Duarte (2021) el lombricompost y bocashi mejoran las características físicas y químicas del suelo, principalmente la aireación, permeabilidad, pH. Al existir estas condiciones óptimas en el suelo se favorece la actividad microbiana y se facilita la supervivencia y multiplicación de microorganismos como *P. fluorescens*. Al favorecer la presencia de la bacteria se expresa todo su potencial como promotora de crecimiento y aumento de productividad.

También se pueden observar rendimientos positivos al fertilizar con lombricompost y bocashi, sin inocular con la bacteria (L, B). El uso de vermicompost aumentó en un 96,5% el rendimiento ha^{-1} en comparación con el tratamiento testigo (sin fertilizar). Por otra parte, el uso de bocashi aumentó en un 96,14% el rendimiento ha^{-1} en comparación con el tratamiento testigo. Resultados similares son los siguientes,

Antomarchi et al. (2017) concluyeron que al aplicar dosis de $2,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de bocashi se logra obtener rendimientos de $12,75 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ más en comparación con plantas sin fertilizar. Robledo et al. (2010) lograron aumentar la productividad del cultivo de tomate en $9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ al fertilizar con lombricompost en comparación con el tratamiento testigo (sin fertilizar). Los autores atribuyen los resultados al incremento de los microorganismos promotores de crecimiento vegetal que aporta este tipo de abono orgánico. Murillo et al. (2016) obtuvieron rendimientos de 3250 g/planta al fertilizar con bocashi, en comparación con 1255 g/planta del tratamiento testigo (sin fertilizar).

El aumento de la productividad (número de racimos, tomates y peso de los frutos) en las plantas de los tratamientos orgánicos (LP, BP, L, B) se relaciona con los resultados de desarrollo. Estas plantas presentaron mayor vigorosidad y un desarrollo más acelerado, por lo tanto, una mayor producción a los 3,5 meses. De acuerdo con Alemán et al. (2016) las plantas más altas, con mayor número de hojas realizan mejores procesos de fotosíntesis que repercuten en la productividad. Las hojas acumulan materia seca, carbohidratos, que permite una adecuada actividad fisiológica.

Además, la alta biomasa microbiana que, según Pérez et al. (2020) se encuentra en estos abonos orgánicos representa una mayor mineralización y solubilización de nutrientes que son aprovechados por las plantas a través del intercambio y sinergia con los microorganismos. Esos nutrientes son utilizados por la planta para formación de flores y frutos, en mayor cantidad, tamaño y peso, tal y como se muestra en los resultados obtenidos.

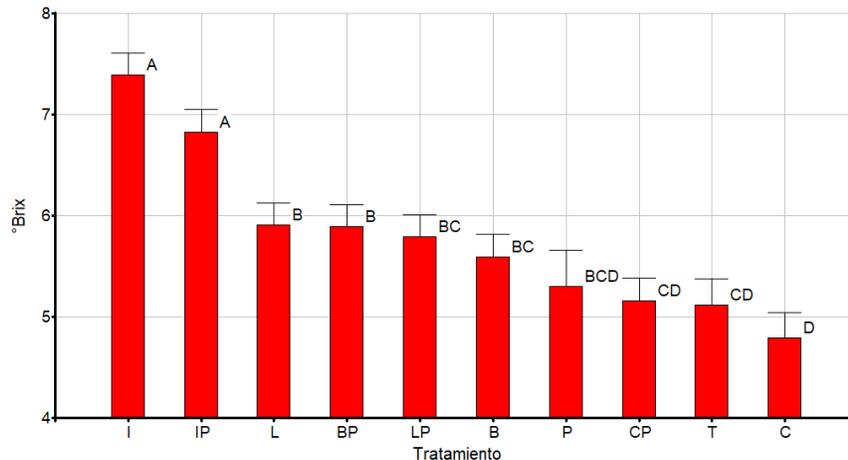
5.4 Calidad de la cosecha

5.4.1 Sólidos solubles totales (SST) (°Brix)

Los frutos de las plantas tratadas con fertilizantes inorgánicos (IP, I) presentaron la mayor cantidad de °Brix ($p \leq 0.05$) (sin diferencias estadísticas entre ellos). Estos frutos tenían en promedio $7,1 \text{ °Brix}$, además, tenían en promedio $1,59$ más °Brix en comparación con los frutos de los tratamientos fertilizados con fuentes orgánicas (LP, BP, CP, L, B, C) y $2,0$ más °Brix que el tratamiento sin ningún tipo de fertilización (T) (Figura 15).

Figura 15

°Brix de los tomates según tratamiento



Nota. El gráfico compara los SST en los frutos de los tratamientos; lombricompost-*P. fluorescens* (LP), bocashi- *P. fluorescens* (BP), compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico- *P. fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I), testigo (T). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2022.

Otros tratamientos que presentaron frutos con °Brix superiores a 5,3 correspondió a los manejados con abonos orgánicos e inoculados con *P. fluorescens* (LP, BP, L, B), los frutos de estas plantas se diferenciaron numérica y estadísticamente ($p < 0,05$) de los tratamientos fertilizados con compost (CP, C) y del tratamiento testigo (T). Los frutos de los tratamientos orgánicos (LP, BP, L, B) tenían en promedio 5,79 °Brix, además, tenían en promedio 0,82 más °Brix en comparación con los tratamientos manejados con compost (CP, C) y 0,7 más °Brix que el tratamiento testigo (T). En conclusión, los frutos de los tratamientos fertilizados con fuentes inorgánicas presentaron 18,45% más °Brix en comparación con los tratamientos orgánicos.

Resultados similares han sido descritos por, Tapia et al. (2021) determinaron un aumento del 30,0% en los °Brix de los frutos de tomate manejados con fuentes inorgánicas en comparación con los fertilizados con enmiendas orgánicas. Además, Terry et al. (2018), encontraron un aumento de 18% en °Brix en los frutos de tomate fertilizados de manera convencional en comparación con los tratamientos orgánicos.

Otros como, Yáñez et al. (2020), realizaron un ensayo en el cultivo de banano, los autores encontraron un mayor contenido de °Brix en frutos verdes (9,6% más) y hojas (10,5% más) en las

fincas manejadas con fertilizantes inorgánicos en comparación con las fincas orgánicas. Por último, Pérez Negrón (2012), no encontraron diferencias estadísticas significativas en los °Brix de frutos manejados de manera orgánica e inorgánica, sin embargo, existían diferencias numéricas a favor de los frutos inorgánicos, estos frutos tenían 0,14 °Brix más que los orgánicos.

Algunos autores han encontrado alternativas para disminuir el uso de fertilizantes inorgánicos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. Por ejemplo, Vázquez et al. (2015), concluyeron que al utilizar té de composta se incrementa la cantidad de SST a 4,5 °Brix. Por otra parte, Alarcón et al. (2018) demostraron en su ensayo en el cultivo de tomate, que el uso de ácidos húmicos mejora la calidad del tomate al lograr incrementar en un 0,9 el contenido de SST (°Brix) en comparación con el tratamiento testigo (sin fertilizar).

Se puede explicar el aumento en los SST en los tratamientos inorgánicos relacionando los niveles de nitrógeno, según Corrales et al. (2016) y Rizo (2015), la disponibilidad de nitrógeno puede afectar la eficiencia de la fotosíntesis productora de azúcares, aumentando los niveles de SST. Lo anterior se relaciona con los resultados de la Tabla 9, se observa una mayor concentración de nitrógeno en los frutos de los tratamientos inorgánicos, en comparación con los tratamientos restantes. Sin embargo, también es relevante mencionar que excesos de nitrógeno pueden disminuir la maduración y afectar los contenidos de azúcares y ácidos.

Por otra parte, también se relaciona con los niveles de estrés presentes en las plantas manejadas con fuentes inorgánicas, tal y como se describe en la Figura 4. Al presentar mayor incidencia del patógeno generó como respuesta fisiológica una mayor transformación de azúcares debido a la presencia de etileno (Rizo, 2015). Un resultado similar lo obtuvo Avendaño et al. (2018), los autores encontraron una mayor concentración de sólidos solubles totales (2,5 °Brix) en plantas de rambután bajo condiciones de estrés hídrico en comparación con plantas bajo riego.

Por último, otra razón que explica que los tratamientos inorgánicos brindaran una mayor disposición de nutrientes y equilibrio que permitió una adecuada síntesis de azúcares y aumento de los SST. Según Yáñez et al. (2020), un suministro de macro y micronutrientes es esencial para el aumento de los °Brix.

Según los resultados obtenidos en la presente investigación, los frutos de los tratamientos inorgánicos son los más dulces, por lo tanto, podrían tener una mejor aceptación en algunos

mercados. Sin embargo, según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA] (2013), frutos con contenidos de SST de 3- 5% son considerados como dulces y aptos para comercializar. Además, según los desarrolladores de la variedad JR (BHN Seeds) los rangos de °Brix propios de la variedad oscilan entre 4,62- 5,76 (AgSeeds, 2022). Es decir, los frutos de todos los tratamientos evaluados en esta investigación presentaron °Brix aceptables (4,8- 7,4) para consumo fresco.

Según los resultados obtenidos la inoculación con la bacteria *P. fluorescens* no generó cambios en los °Brix en ninguno de los tratamientos evaluados.

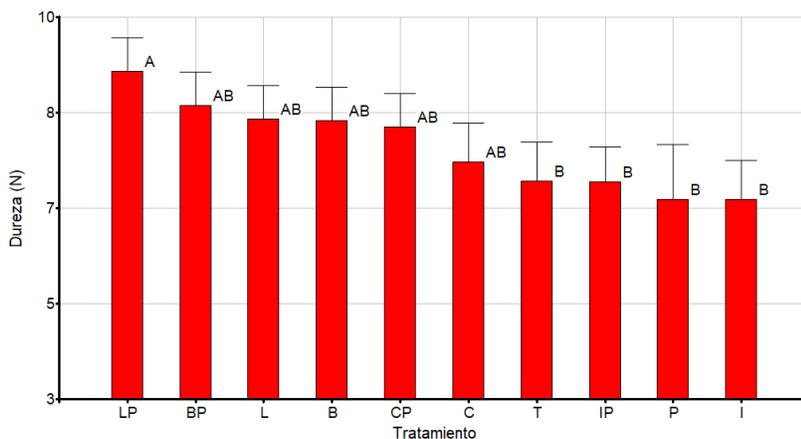
5.4.2 Dureza

La dureza de los frutos de todos los tratamientos se comportó muy similar; únicamente el tratamiento lombricompost+ *P. fluorescens* (LP) presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en comparación con los tratamientos testigo (T), *P. fluorescens* (P) e inorgánicos (IP, I). No existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos restantes.

Sin embargo, sí existen algunas diferencias numéricas a favor de los tratamientos orgánicos, principalmente los fertilizados con lombricompost, bocashi e inoculados con *P. fluorescens* (LP, BP, L, B). Los frutos de estos tratamientos necesitaban en promedio 8,41 newton (N) para penetrar la cáscara, es decir, eran frutos más duros. Además, los frutos de estos tratamientos orgánicos necesitaban en promedio 1,59 newton (N) más para penetrar la cáscara, en comparación con los tratamientos inorgánicos (IP, I) y 1,41 newton (N) más que los frutos del tratamiento testigo (T) (Figura 16).

Figura 16

Dureza de los frutos de tomate



Nota. El gráfico compara la dureza de los tomates en los tratamientos; el lombricompost- *P. fluorescens* (LP), bocashi- *P. fluorescens* (BP), compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico- *P. fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I), testigo (T). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2022.

Los frutos de los tratamientos inorgánicos (IP, I), testigo (T) y *P. fluorescens* (P), presentaron los valores más bajos en relación con la dureza, es decir, son los frutos más susceptibles al transporte, manipulación y daño por plagas. Los frutos de los tratamientos inorgánicos necesitaban en promedio 6,82 newton (N) para penetrar la cáscara. En conclusión, la fertilización con fuentes orgánicas (LP, BP, L, B) aumentó en un 19,0% la firmeza del fruto, en comparación con los tratamientos inorgánicos (IP, I).

Según los resultados obtenidos la inoculación con la bacteria *P. fluorescens* generó cambios en la dureza de los frutos solo en el tratamiento manejado con lombricompost (diferencias numéricas). Resultados similares a los anteriores han sido descritos por,

González et al. (2014), concluyeron que al fertilizar con abonos orgánicos se puede aumentar la firmeza en 8,15% en comparación con fuentes inorgánicas. También, Castelo et al. (2014) aumentaron la dureza en un 2,18 kg en los frutos de tomate fertilizados con abonos orgánicos en comparación con los frutos manejados de manera convencional. Otros autores como, Mian et al. (2021), compararon la dureza de frutos de tomate bajo diferentes esquemas de producción, ellos dedujeron que la fertilización inorgánica disminuyó la firmeza de los frutos en

comparación con los tratamientos orgánicos, es decir, los frutos orgánicos tenían un 46% más dureza. Por último, Tapia et al. (2021), encontraron un aumento del 29% en la firmeza de frutos de tomate manejados de manera orgánica en comparación con los fertilizados con fuentes inorgánicas.

Según González et al. (2014), Mian et al. (2021) y Rahmany y Zhang (2018), las altas concentraciones de N en los tratamientos inorgánicos favorecen una pérdida de la firmeza, resultados similares a los de la presente investigación (Tabla 9). Una elevada concentración de N se relaciona con la presión en la turgencia celular y mayor succulencia (Arellano y Gutiérrez, 2006). Este aumento en la concentración de N pudo haber favorecido un desbalance nutricional que repercutió en menor dureza de la pared del tejido del fruto.

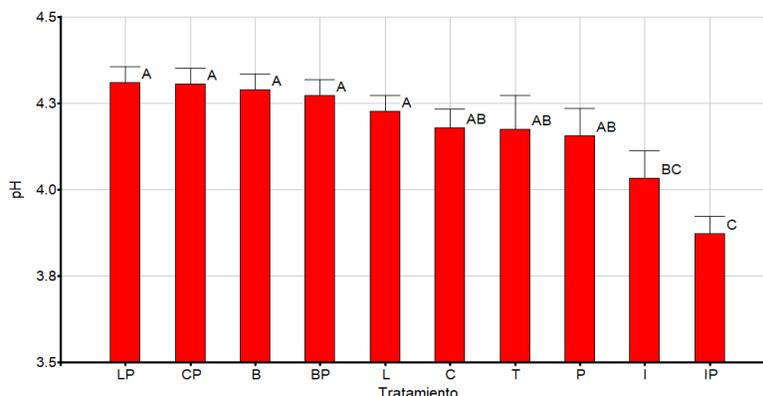
Además, los tratamientos orgánicos (LP, L, BP, C) tenían las concentraciones más altas de calcio en el fruto (Tabla 9), el cuál es un nutriente que mejora la rigidez de la pared celular y retarda la maduración del fruto (Arellano y Gutiérrez, 2006).

5.4.3 pH

Los frutos de las plantas manejados con los abonos orgánicos (LP, CP, B, BP, L) se diferenciaron estadísticamente ($p \leq 0.05$) de los tratamientos inorgánicos (IP, I). Estos frutos de plantas fertilizadas de manera orgánica tenían en promedio pH de 4,28, además, tenían en promedio 0,33 más pH (más alcalinos) en comparación con los tratamientos inorgánicos (más ácidos) (Figura 17).

Figura 17

pH de los frutos de tomate



Nota. El gráfico compara el pH de los frutos de los tratamientos; lombricompost- *P. fluorescens* (LP), bocashi- *P. fluorescens* (BP), compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico- *P. fluorescens* (IP),

lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I), testigo (T). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2022.

Los tratamientos inorgánicos presentaron los valores de pH más bajos, con un promedio de 3,95. Es decir, los frutos de los tratamientos inorgánicos presentaron 7,7% menos pH en comparación con los orgánicos. Un pH bajo es importante para el proceso industrial debido a que inhibe el crecimiento de bacterias, pero podría favorecer mayor presencia de hongos (ACONSA, 2022). Además, el pH junto con otros factores se relaciona con la vida poscosecha, un pH ácido se dice que aumenta la vida en anaquel debido a una menor carga de bacterias (Domene y Segura, 2014).

No existen diferencias estadísticas entre los tratamientos orgánicos y el testigo (T). Según los resultados obtenidos la inoculación con la bacteria *P. fluorescens* no generó cambios en el pH de los frutos en ninguno de los tratamientos evaluados.

Algunos resultados similares han sido descritos por, Mian et al. (2021), encontraron un pH menor en frutos de tomate de tratamientos inorgánicos, en comparación con los manejados de manera orgánica, la disminución correspondió a un 19,67%. También, Castelo et al. (2014), encontraron un 22,23% más acidez titulable (pH más bajo) en frutos manejados de manera convencional en comparación con los fertilizados con lombricompost, humus y abonos orgánicos. Estos resultados difieren de lo encontrado por Terry et al. (2018), ellos determinaron un 24,42% más pH en frutos manejados con nutrición convencional en comparación con los fertilizados con fuentes orgánicas.

El aumento en la acidez de los frutos de los tratamientos inorgánicos se relaciona con el estrés en las plantas, esto deriva una mayor respiración y producción de etileno para activar el proceso de maduración, esa síntesis de etileno genera la producción de ácido cítrico, influyendo en bajos niveles de pH (Iguarán y Alzate, 2014; Sahagún y Oviedo, 2008). Tal y como lo menciona Hernández, Montiel y Pinedo, 2010, los autores afirman que, la disminución del pH en frutas se relaciona con un mayor contenido de ácidos orgánicos presentes de forma ionizada en el tejido vegetal.

Según los resultados de la presente investigación las plantas de los tratamientos inorgánicos presentaron mayor incidencia de la *P. instestans* (Figura 4), por lo tanto, un mayor estrés. Lo anterior se relaciona con los altos niveles de °Brix y bajo pH en los frutos de estos tratamientos inorgánicos.

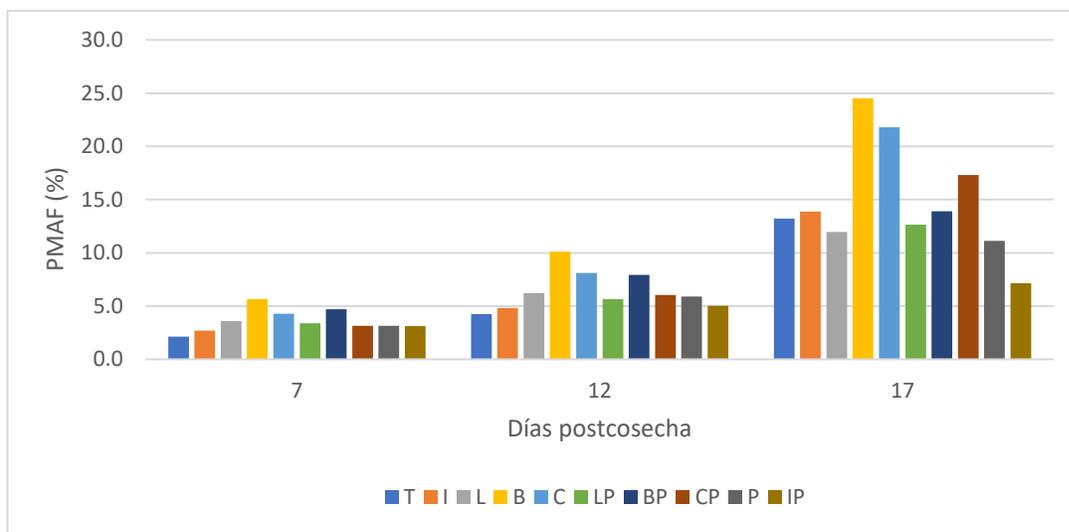
Según Yara (sf), los frutos de todos los tratamientos evaluados en la presente investigación se encontraban en los rangos ideales (4,0- 4,5) de pH para consumo fresco, procesamiento y vida poscosecha.

5.4.4 Pérdida de masa por actividad fisiológica (PMAF)

En la variable pérdida de masa por actividad fisiológica (PMAF) (Figura 18) existen diferencias numéricas entre los tratamientos, a los 7 días la menor pérdida de peso se dio en los frutos de los tratamientos testigo (T), *P. fluorescens* (P) e inorgánicos (I, IP), mientras que los frutos manejados con bocashi (B), bocashi+ *P. fluorescens* (BP) presentaron una mayor pérdida de peso.

Figura 18

Pérdida de masa por actividad fisiológica



Nota. El gráfico compara la pérdida de masa por actividad fisiológica a los 7, 12 y 17 días postcosecha en los frutos de los tratameintos; lombricompost- *P. fluorescens* (LP), bocashi- *P. fluorescens* (BP), compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico- *P. fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I) y testigo (T)

A los 12 días de almacenamiento se repiten las tendencias, sin embargo, se observó que los frutos del tratamiento lombricompost+ *P. fluorescens* (LP) también perdieron muy poco peso en relación con los tratamientos fertilizados con bocashi (BP, B).

A los 17 días de almacenamiento se observó una menor pérdida de peso en los tratamientos testigo (T), *P. fluorescens* (P) e inorgánicos (I, IP), mientras que los tratamientos que perdieron más peso correspondieron a los manejados con bocashi (B), compost (C), y compost+ *P. fluorescens* (P). Los frutos de los tratamientos inorgánicos (IP, I) perdieron en promedio 8,7% menos peso en comparación con los frutos de los tratamientos manejados con bocashi (BP, B).

Los frutos del tratamiento testigo (T), *P. fluorescens* (P) e inorgánicos (I, IP), perdieron menos peso durante el almacenamiento. En el mercado se considera una variable importante debido a una mejor apariencia y calidad en anaquel (Rivera et al., 2010). Sin embargo, es importante mencionar que los frutos correspondientes a estos tratamientos eran los de menor peso, por lo tanto, existe una relación entre el peso inicial y la pérdida de peso a los 7, 12 y 17 días de almacenamiento.

Debido a lo antes mencionado los frutos más pesados al momento de la cosecha son los que perdieron mayor masa, la pérdida de peso se relaciona con la transpiración del fruto y su consecuente pérdida de agua durante el periodo de almacenamiento (Benito, Arellanes y Pérez, 2016; Cruz et al., 2012). Es decir, los frutos más pesados tienen mayor contenido de agua, la cual van perdiendo conforme avanza el proceso de respiración y transpiración.

Casierra y Aguilar (2008) mencionan que uno de los factores que determinan la pérdida de peso corresponde a la relación área superficial/volumen; ellos encontraron una mayor pérdida de peso en los frutos más grandes, es decir, una mayor área superficial facilita la pérdida de humedad.

A pesar de que en el presente estudio no se encontraron diferencias estadísticas significativas en esta variable, hay algunas diferencias numéricas a favor de los tratamientos inoculados con *P. fluorescens*. Es decir, la inoculación con la bacteria podría relacionarse con una menor pérdida de peso durante la vida en anaquel.

Con respecto a la pérdida de peso en los frutos de los tratamientos orgánicos, el que perdió menos peso correspondió al tratamiento lombricompost, a pesar de tener tomates de mayor tamaño al momento de la cosecha en comparación con los frutos manejados con bocashi. Esto se relaciona

con una mayor dureza en los frutos manejados con lombricompost (Figura 16), ya que una pared celular más gruesa evita la pérdida de agua.

Algunos autores difieren de los resultados de la presente investigación, por ejemplo,

Castelo et al. (2014) compararon la pérdida de peso en frutos de tomate fertilizados de manera convencional y orgánica. Los autores encontraron menos pérdida de peso en los frutos con fertilización orgánica, siendo de apenas 3,0 % en un periodo de tiempo de 20 días.

5.4.5 Aspecto

5.4.5.1 Calibre

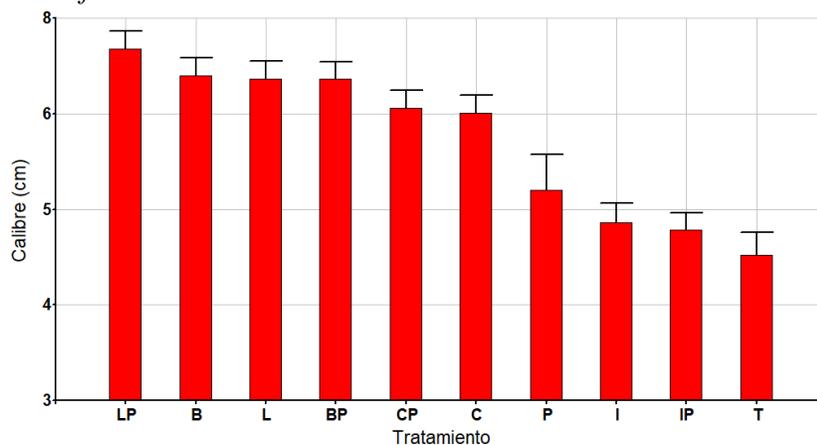
Los tomates se clasificaron por su calibre (diámetro ecuatorial) (Figura 20) en grandes, medianos y pequeños según el reglamento técnico RTCR 379: 2004 para consumo en estado fresco (MEIC- MAG, 2004). En la Figura 19 se puede observar que los frutos del tratamiento lombricompost+ *P. fluorescens* (LP) presentaron el mayor calibre, con un promedio de 7,1 cm, seguido por los tratamintos orgánicos (B, L, B, CP, C) y con los calibres más bajos los tratamientos *P. fluorescens* (P), inorgánicos (IP, I) y testigo (T).

Los frutos de los tratamientos orgánicos (LP, B, L, BP, CP, C) tenían en promedio 28,0% (1,86 cm) más calibre que los frutos de los tratamientos inorgánicos (IP, I) y 33,7% (2,24 cm) más que los frutos del tratamiento testigo (T).

La inoculación con la bacteria *P. fluorescens* generó un aumento en el calibre de los frutos en el tratameinto lombricompost+ *P. fluorescens* (LP), este aumento se relaciona con el mayor peso (Figura 13) que presentaron los frutos de este tratamiento. Es decir, la bacteria aumentó en un 5,63% el calibre de los frutos en comparación con el abono sin inocular.

Figura 19

Calibre (cm) de los frutos de tomate



Nota. El gráfico compara el calibre de los frutos en los tratamientos; lombricompost- *P. fluorescens* (LP), bocashi- *P. fluorescens* (BP), compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico- *P. fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I) y testigo (T).

En la Tabla 7 se puede observar la clasificación del tamaño del tomate de acuerdo con el calibre, ninguno de los tratamientos alcanzó frutos con calibres grandes ($\geq 8\text{cm}$). Los frutos de los tratamientos LP, B, L, BP, CP y C se clasificaron como medianos debido a que su diámetro ecuatorial oscilaba entre 6,3 -7,1 cm. Además, los frutos de los tratamientos P, I, IP y T se clasificaron como pequeños (calibres, 4,0- 6,0 cm).

Tabla 7

Clasificación del tamaño de tomate según calibre (cm)

Grande ($\geq 8,0$ cm)	Mediano (6,0 – 8,0 cm)	Pequeño (4,0- 6,0 cm)
-	LP, B, L, BP, CP, C	P, I, IP, T

Según FAO (2003), los tomates grandes son utilizados principalmente en procesos de industrialización para fabricar salsas, jugos y otros productos, mientras que, los frutos medianos y pequeños en general tienen mayor preferencia a nivel de consumidor debido a su consumo en el momento, que evita almacenarlo en la refrigeradora. Sin embargo, estos hábitos de consumo varían según la región, tamaño de la familia y costumbres de la población (Ruiz, 2002).

Resultados similares a los de la presente investigación han sido descritos por, Tapia et al. (2021), los autores determinaron un mayor calibre en los frutos manejados de manera orgánica en comparación con los inorgánicos, el calibre aumentó en un 31,13%. También, Moposa (2019) encontraron un aumento de 4,64% en el diámetro ecuatorial (calibre) de frutos fertilizados con enmiendas orgánicas en comparación con un plan 100% inorgánico.

Por otra parte, Pérez Negrón (2012), no encontró diferencias estadísticas significativas en el diámetro ecuatorial de frutos orgánicos e inorgánicos, ambos tenían promedios de diámetro ecuatorial cercanos a 5,0 cm. Por último, Castelo et al. (2014), no encontraron diferencias en el calibre de frutos de los tratamientos con enmiendas orgánicas e inorgánicos, todos los frutos se clasificaron como grandes (8,0 cm de diámetro ecuatorial).

Figura 20

Diámetro ecuatorial (Calibre)



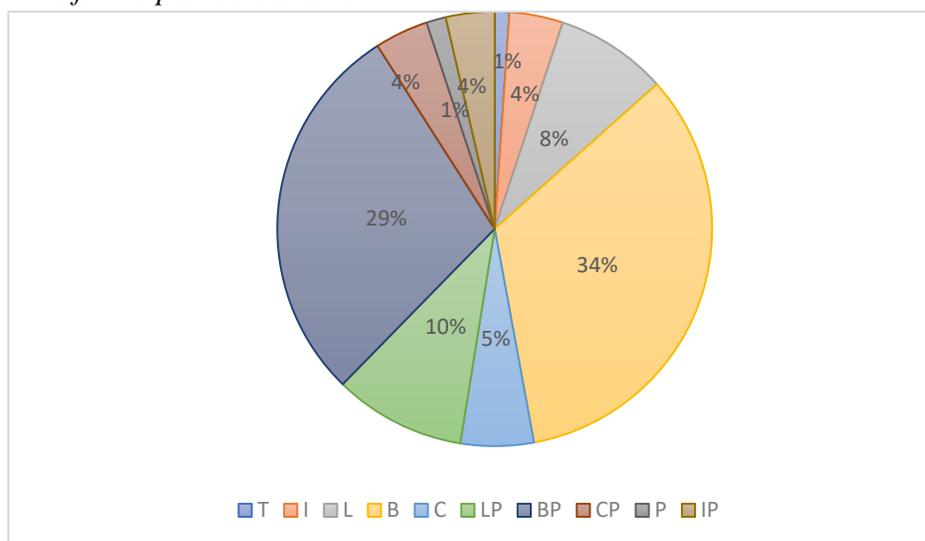
5.4.5.2 Pérdida

Las pérdidas contempladas en la presente investigación se basan en la totalidad de frutos (pérdida agrícola), existen otros estudios como el de Brenes et al. (2015) que mencionan una pérdida en “selección en finca” (considerada pérdida de alimentos) de 6,0 %, sin embargo, en el estudio sólo se cuantifica la pérdida de los frutos cosechados. Es decir, existe un porcentaje de tomates que no cumplen con características de calidad por estar malformados y dañados principalmente, que quedan en la planta y no son cuantificados.

En este estudio, los tomates que no cumplían con los requisitos mínimos de calidad debido a que no estaban sanos, bien formados y presentaban daños morfológicos se consideraron como pérdida. En total se perdieron 276 frutos de tomate, equivalente a un 24,0 %, ya que presentaban daños por *P. infestans*, y malformaciones. En la Figura 21 se muestra la distribución porcentual de la pérdida total por tratamiento.

Figura 21

Pérdida total de frutos por tratamiento



Nota. El gráfico compara la pérdida total de frutos por tratamiento; lombricompost- *P. fluorescens* (LP), bocashi- *P. fluorescens* (BP), compost- *P. fluorescens* (CP), inorgánico- *P. fluorescens* (IP), lombricompost (L), bocashi (B), compost (C), *P. fluorescens* (P), inorgánico (I) y testigo (T).

Un estudio similar lo realizaron la FAO y Universidad de Santiago de Chile (2019), en el país Chile, los autores determinaron una pérdida agrícola de 23,0 % en el cultivo de tomate, siendo las condiciones estéticas como el calibre las principales razones para dejar los frutos en campo.

En la Tabla 8 se muestra la pérdida de frutos de tomate según la productividad total por tratamiento, los tratamientos manejados con bocashi (BP, B) presentaron una mayor pérdida, 32,1% y 42,3% respectivamente. Este tratamiento presentó la mayor pérdida por frutos deformes debido posiblemente a desequilibrios de calcio, boro y/o magnesio. A pesar de las pérdidas altas en estos tratamientos (BP, B) también presentaron cantidades de tomates elevadas (Figura 12), debido a esto, es recomendable aplicar algún insumo externo de calcio-boro para disminuir la pérdida por malformaciones al fertilizar con bocashi.

Los tratamientos manejados con lombricompost (LP, L) presentaron pérdidas de frutos bajas en comparación con el tratamiento testigo (T) y bocashi (B, BP) y similares a los tratamientos inorgánicos (I, IP). Por lo tanto, este tipo de fertilización con lombricompost podría favorecer una menor pérdida agrícola de frutos en campo.

Tabla 8

Pérdida de frutos por tratamiento según productividad total

Tratamiento	Pérdida de frutos por tratamiento según productividad total (%)
Bocashi (B)	42,3
Bocashi + <i>P. fluorescens</i> (BP)	32,1
<i>P. fluorescens</i> (P)	30,8
Testigo (T)	23,1
Inorgánico (I)	16,9
Compost (C)	16,7
Lombricompost (L)	15,8
Lombricompost + <i>P. fluorescens</i> (LP)	14,0
Inorgánico + <i>P. fluorescens</i> (IP)	13,3
Compost + <i>P. fluorescens</i> (CP)	13,1

5.4.6 Composición nutricional

El contenido de minerales se puede observar en la Tabla 9, los tratamientos que presentaron frutos con mayor contenido de N correspondieron a los inorgánicos (I, IP), seguido por los frutos de los tratamientos manejados con bocashi (BP, B). Los frutos inorgánicos (IP, I) tenían en promedio 32,1% más N en comparación con los manejados con bocashi (BP, B) y 38,93% más N que el tratamiento testigo (T).

Tabla 9

Análisis de composición nutricional de los frutos de tomate

Tratamientos	% masa						mg kg ⁻¹				
	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
<i>P. fluorescens</i> (P)	1.43	0.43	0.12	0.24	2.97	0.15	26	11	19	18	15
Testigo (T)	1.82	0.41	0.10	0.22	2.69	0.14	26	12	18	15	15
Inorgánico	2.76	0.23	0.09	0.13	3.29	0.07	31	10	15	13	11
Inorgánico + <i>P. fluorescens</i> (IP)	3.20	0.29	0.11	0.17	3.27	0.10	35	19	19	21	13
Bocashi + <i>P. fluorescens</i> (BP)	2.05	0.42	0.13	0.14	3.37	0.14	37	12	21	12	13
Bocashi (B)	1.98	0.49	0.08	0.15	3.91	0.14	39	11	25	9	15
Lombricompost (L)	1.97	0.30	0.17	0.14	3.43	0.14	60	15	18	10	13
Lombricompost + <i>P. fluorescens</i> (LP)	1.83	0.31	0.16	0.13	3.21	0.11	48	12	17	9	12
Compost (C)	1.88	0.28	0.13	0.14	3.45	0.10	35	12	19	9	13
Compost + <i>P. fluorescens</i> (CP)	1.51	0.29	0.08	0.11	3.25	0.08	28	11	15	8	11

Nota. El contenido de N, P, Ca, Mg, K y S se muestra en % de masa, mientras que Fe, Cu, Zn, Mn y B se muestra en mg kg⁻¹ ambos se cuantificaron en 100 g de materia seca. Se aprecian los valores óptimos (verde), medios (amarillo) y bajos (rojo) para los macroelementos N, P, Ca, Mg, K, según los resultados de Kumar et al. (2015).

Asimismo, los tratamientos que mostraron frutos con mayor contenido de P correspondieron a los manejados con bocashi (BP, B), además de los tratamientos testigo (T) y *P. fluorescens* (P). Los frutos con menor contenido de P fueron los fertilizados de manera inorgánica (IP, I). Estos tratamientos con bocashi (BP, B) tenían en promedio 43,43% más P en contraste con los inorgánicos (IP, I).

También, los tratamientos que presentaron frutos con mayor porcentaje de Ca pertenecieron a los manejados con lombricompost (LP, L), mientras que, los frutos fertilizados de manera convencional (IP, I) y el testigo (T) tenían los porcentajes más bajos. Los frutos de los tratamientos lombricompost (LP, L) tenían en promedio 41,48% más Ca en contraposición con los frutos inorgánicos (IP, I) y el tratamiento testigo (T).

Otros tratamientos que expresaron frutos con mayor contenido de Mg correspondieron a los manejados únicamente con *P. fluorescens* (P) y el testigo (T); los tratamientos restantes tuvieron contenidos muy similares. Los tomates del tratamiento *P. fluorescens* (P) tenían en promedio 37,5% más Mg en contraste con los frutos fertilizados con bocashi (BP, B) e inorgánicos (IP, I).

Los tratamientos que presentaron frutos con mayor contenido de K pertenecieron a los fertilizados con bocashi (BP, B), seguido por los tratamientos orgánicos (LP, L, CP, C) y los inorgánicos (IP, I), y con los contenidos más bajos el tratamiento testigo (T). Los frutos del tratamiento bocashi (BP, B) tenía en promedio 9,89% más K en comparación con los tratamientos inorgánicos (IP, I) y 26,1% más K que el tratamiento testigo (T).

Los contenidos de S se comportaron muy similares en todos los tratamientos, siendo el tratamiento inorgánico (I), el que presentó frutos con menor contenido del mineral. Los mayores contenidos se presentaron en los tratamientos bocashi (BP, P), lombricompost (L), testigo (T) y *P. fluorescens* (P). Los frutos de los tratamientos orgánicos (BP, B, L) tenían en promedio 50,0 % más S en contraposición con el tratamiento inorgánico (I).

El tratamiento que produjo frutos con mayor contenido de Fe perteneció a los fertilizados con lombricompost (L), seguido por el tratamiento LP y los tratamientos manejados con bocashi (B, BP). Los frutos del tratamiento L tenía en promedio 45,0% más Fe en comparación con los tratamientos inorgánicos (IP, I) y 56,67% más Fe que el tratamiento testigo (T).

Además, el tratamiento que presentó frutos con mayor contenido de Cu correspondió al inorgánico+ *P. fluorescens* (IP). Los frutos de este tratamiento presentaron en promedio 36,84% más Cu en comparación con el testigo (T) y 36,0% más Cu en comparación con los frutos orgánicos (BP, B, L, LP, C, CP).

Los tratamientos que mostraron frutos con mayor contenido de Zn pertenecieron a los fertilizados con bocashi (BP, B). Los frutos de estos tratamientos tenían en promedio 26,10% más Zn en contraste con los tratamientos inorgánicos (IP, I) y 21,74% más Zn que el tratamiento testigo (T).

El tratamiento que produjo frutos con mayor contenido de Mn correspondió al fertilizado de manera convencional (IP) seguido por el inoculado con *P. fluorescens* (P), mientras que, los frutos con el contenido más bajo fueron los orgánicos (BP, B, L, LP, C, CP). Los frutos manejados

de manera inorgánica (IP) presentaron en promedio 54,76% más Mn en comparación con los orgánicos (BP, B, L, LP, C, CP) y 28,58% más Mn que el tratamiento testigo (T).

Por último, los tratamientos que produjeron frutos con mayor contenido de B pertenecieron a los manejados con bocashi (B), inoculados con *P. fluorescens* (P) y el testigo (T). Estos frutos tenían en promedio 20,0% más B en contraposición con frutos de los tratamientos inorgánicos (IP, I).

En resumen, los frutos de los tratamientos inorgánicos (IP, I) presentaron mayor contenido de minerales como el N, Cu, y Mn. Por otra parte, los frutos de los tratamientos orgánicos, principalmente (LP, L, BP, B) tenían porcentajes mayores de P, Ca, K, Fe y Zn, además de valores altos de B.

El análisis químico de los abonos orgánicos (Tabla 4) presentó mayores valores de nutrientes como N, P, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B en el bocashi y lombricompost en comparación con el compost, estos contenidos de nutrientes en el suelo se reflejan en el contenido de minerales en el fruto, por lo tanto, el tipo de fertilización si influye en el valor mineral de frutos de tomate. Estos resultados difieren de lo mencionado por, Muilwijk et al. (2015), ellos mencionan que el tipo de fertilización si influye en la composición de compuestos volátiles y características organolépticas del fruto, sin embargo, no influye en el contenido mineral.

Terry et al. (2018), encontraron un mayor porcentaje de N, P y K en los frutos de los tratamientos manejados de manera convencional en comparación con frutos orgánicos, el aumento correspondió a un, 16,67%, 9,1% y 10,4% respectivamente.

Además, a pesar de que las plantas inorgánicas no recibieron fertilización a base de Cu y Mn presentaron un mayor contenido de estos minerales en el fruto en comparación con los frutos orgánicos. El contenido de minerales en los frutos depende del tipo de fertilización, además de las características agroclimáticas y de suelo, que determinan una adecuada absorción de nutrientes (Vélez-Terrerros et al., 2021).

Autores como, Kelly y Bateman (2010), describen resultados similares a los del presente trabajo, afirman que existe una mayor presencia de Ca y Zn en frutos orgánicos debido a la presencia de microorganismos en el suelo encargados de solubilizar nutrientes para el posterior aprovechamiento por la planta. Hadayat et al. (2018), encontraron en promedio 6,88% más Zn en

frutos orgánicos, en comparación con inorgánicos. Además, estos autores difieren de los resultados de la presente investigación en cuanto al mayor contenido de Cu en frutos inorgánicos, al contrario, Hadayat et al. (2018), encontraron en promedio 8,7% más Cu en los frutos orgánicos.

6. CONCLUSIONES

-Las plantas fertilizadas con los abonos orgánicos bocashi y lombricompost e inoculadas con *P. fluorescens* (BP, LP) presentaron mayor altura, número de hojas y flores en comparación con el resto de los tratamientos, además, la inoculación con *P. fluorescens* en los abonos orgánicos lombricompost y bocashi aumentó en promedio 24,0 cm la altura, por lo tanto, el uso de abonos orgánicos es una alternativa viable para favorecer el desarrollo de plantas de tomate.

-No se observó influencia positiva de la *P. fluorescens* en el desarrollo de la planta con el tratamiento orgánico de compost, debido a que la relación C: N del compost (20.5:1) no es aceptable para la sobrevivencia de la bacteria.

-La inoculación con la bacteria *P. fluorescens* en combinación con la fertilización inorgánica (IP) no aumentó la altura ni el número de hojas de las plantas de tomate, sin embargo, hubo un aumento de 28,77% en el número de flores en comparación con el tratamiento inorgánico sin inocular (I).

-La bacteria *P. fluorescens* necesita altos porcentajes de materia y abonos orgánicos para que pueda sobrevivir en un suelo y promover el crecimiento vegetal; la fertilización con bocashi y lombricompost al 20% favoreció el establecimiento de la bacteria.

-La inoculación con *P. fluorescens* en el abono lombricompost y bocashi aumentó en 15 t \cdot ha⁻¹ y 12,7 t \cdot ha⁻¹ respectivamente, el rendimiento del cultivo en comparación con la aplicación del abono orgánico sin inocular, por lo tanto, la incorporación de *P. fluorescens* es ideal en el plan de fertilización en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

-Los frutos de los tratamientos fertilizados con fuentes inorgánicas presentaron 18,45% más °Brix y 7,7% menos pH (más ácidos) en comparación con los tratamientos orgánicos. Sin embargo, los tratamientos orgánicos también presentaron °Brix y pH aceptables para consumo fresco e industrialización.

-Los frutos de los tratamientos orgánicos mostraron características que previenen la pérdida y desperdicio de alimentos, ya que presentaron una mayor dureza en comparación con los frutos inorgánicos (1,59 N más), es decir, los frutos orgánicos favorecen más resistencia al transporte, manipulación, daño por plagas, entre otros.

-Los frutos de los tratamientos inorgánicos (IP, I) perdieron en promedio 8,7% menos peso en comparación con los frutos de los tratamientos manejados con bocashi (BP, B), estos frutos podrían tener una mayor calidad en anaquel debido a una menor pérdida de masa. Sin embargo, es importante mencionar que los frutos correspondientes a estos tratamientos eran los de menor peso, por lo tanto, existe una relación entre el peso inicial y la pérdida de peso a los 7, 12 y 17 días de almacenamiento.

-Los frutos del tratamiento lombricompost (LP, L) perdieron menos peso a los 7, 12 y 17 días postcosecha (3,4g, 6,2g y 13,8g respectivamente) en comparación con los tratamientos fertilizados con bocashi (BP, B); además, la inoculación con la bacteria se relaciona con una menor pérdida de peso en todos los tratamientos (diferencias numéricas), por lo tanto, la fertilización con lombricompost e inoculación con *P. fluorescens* es una alternativa orgánica viable al favorecer una mejor calidad en anaquel y disminuir la pérdida y el desperdicio de alimentos al mantener su peso por más tiempo.

-Los frutos de los tratamientos orgánicos tenían en promedio 28,0% más calibre que los frutos de los tratamientos inorgánicos y 33,7% más que los frutos del tratamiento testigo (T), además, la inoculación con la bacteria *P. fluorescens* en el tratamiento lombricompost aumentó en un 5,63% el calibre de los frutos en comparación con el abono sin inocular.

-La fertilización con bocashi (BP, B) presentó la mayor pérdida de frutos, 32,1% y 42,3% respectivamente, debido a frutos malformados relacionado con deficiencias de calcio y/o boro, por lo tanto, es necesario combinarlo con otros ingredientes altos en calcio y boro al momento de la preparación o suministrarlo por otras fuentes.

-El tratamiento manejado con lombricompost presentó 44,6% menos pérdida de frutos en comparación con el tratamiento bocashi, debido a una mayor dureza y contenido nutricional aportado, por lo tanto, es una alternativa de fertilización orgánica para disminuir la pérdida agrícola en el cultivo de tomate.

-Los abonos orgánicos se deben enriquecer con minerales como el N, Cu y Mn para aumentar su valor nutricional, ya sea agregando ingredientes con porcentajes altos de estos nutrientes o suministrando otras fuentes como puede ser el caso de bacterias fijadoras de nitrógeno.

-La fertilización con lombricompost al 20% y la inoculación con *P. fluorescens* aumentó parámetros de desarrollo, rendimiento/ha, favoreció una mayor dureza del fruto, así como una mayor vida en anaquel, mayor calibre y una baja pérdida agrícola.

7. RECOMENDACIONES

-Evaluar los microorganismos presentes en los abonos orgánicos y suelo a utilizar antes y después del ensayo para conocer los posibles antagonismos y sinergias que se pueden dar con *P. fluorescens*.

-Realizar análisis químicos y físicos durante el ensayo a los diferentes tratamientos para conocer los factores que pueden afectar la sobrevivencia de *P. fluorescens*.

-Realizar aislamientos de *P. fluorescens* durante el ensayo para conocer la adaptación y sobrevivencia a la largo del tiempo en los tratamientos y en las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

-Medir indicadores como la respiración microbiana y carbono orgánico a los diferentes tratamientos al final del ensayo para conocer el efecto de los tratamientos en características físicas, químicas y biológicas (salud del suelo).

-Determinar la disponibilidad de fósforo en los diferentes tratamientos al inicio, durante y al final del ensayo para comprobar la capacidad solubilizadora de fósforo de *P. fluorescens*.

-Evaluar otros indicadores de calidad en la composición nutricional como: ácido ascórbico, licopeno, vitaminas, aminoácidos y metales pesados.

-Aplicar quelatos de calcio y boro al fertilizar con bocashi (Coopebrisas) para disminuir la pérdida provocada por malformación.

-Utilizar ingredientes altos en nitrógeno, disminuir el uso de aserrín e inocular con microorganismos de montaña el compost realizado en UNA Campus sostenible, para mejorar la relación C: N y aumentar la posibilidad de bacterias como *P. fluorescens* de sobrevivir en el sustrato.

-Realizar la investigación bajo condiciones climáticas adecuadas, para evitar la presencia de patógenos que puedan alterar algunos parámetros.

-Considerar los datos de la presente investigación para cuantificar la pérdida agrícola total en el cultivo de tomate.

8. REFERENCIAS

- ACONSA. (2022). pH en alimentos: su importancia en la seguridad alimentaria. <https://aconsa-lab.com/ph-en-alimentos-importancia/#:~:text=Soportan%20muy%20bien%2C%20por%20lo,un%20entorno%20propicio%20para%20deteriorarlas>.
- Agredo, España, D. (2014). Comparación de la eficiencia en la producción de lechuga (*Lactuca Sativa*) en un suelo rehabilitado con abono orgánico Bocashi y el mismo suelo con fertilizante químico *NPK* (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente).
- AgSeeds. (2022). Procesamiento de tomates. Cannery tomato 2022 variety guide. http://www.agseeds.com/agseeds/assets/File/2022_Variety_Guide.pdf
- Agudelo, D. A. y Polanco, M. F. (2019). Evaluación del bioestimulante foliar (bioagro triple a) en la producción de tomate tipo chonto (*Lycopersicum sculentum* Mill) en dos ambientes de cultivo. *Agricolae & Habitat*, 2(2). <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/agricolae/article/view/3423>
- Aguirre-Medina, J. F., & Espinosa Moreno, J. A. (2016). Crecimiento y rendimiento de *Capsicum annum* L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(7), 1539-1550.
- Alarcón, A., Barreiro, P., Boicet, T., Ramos, M. y Morales, J. Á. (2018). Influencia de ácidos húmicos en indicadores bioquímicos y físico-químicos de la calidad del tomate. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 243-255.
- Alarcón, J., Recharte, D. C., Yanqui, F., Moreno, S. M. y Buendía, M. A. (2020). Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67-73.
- Alarcón, Z. A. (2013). Calidad poscosecha del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en sistemas ecológicos de fertilización. *Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos*.

- Alemán Pérez, R. D., Domínguez Brito, J., Rodríguez Guerra, Y., & Soria Re, S. (2016). Indicadores morfológicos y productivos del cultivo del tomate en Invernadero con manejo agroecológico en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana. *Centro Agrícola*, 43(1), 71-76.
- Alemu, F. (2016). Isolation of *Pseudomonas fluorescens* species from *Faba bean* rhizospheric soil and assessment of indole acetic acid production: In vitro study, Ethiopia. *American Journal of BioScience*, 4(2), 9.
- Alfaro, A. E., Ascencio, G., María, J. y Rivera Osorio, J. E. (2013). *Evaluación del efecto de seis programas de fertilización con calcio-boro y dos temperaturas de almacenamiento, en la prolongación de la vida en anaquel del tomate (Lycopersicon sculentum L.), híbrido Evaluna RZ F1, en el municipio de La Palma, cantón Los Planes, departamento de Chalatenango* [Doctoral disertación, Universidad de El Salvador]. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5265/>
- Allende, M., Salinas, L. y Torres, A. (2017). Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. Chile: Publicaciones INIA. Boletín INIA N°377. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6708/Bolet%C3%ADn%20INIA%20N%C2%B0%20377?sequence=1&isAllowed=y>
- Almela, F. R., Flores, F. B., Egea, M. I., Bel, P. S., Madrid, M. C. M., Ribas, F. y Cabello, M. J. (2007). Factores precosecha que afectan a la calidad de frutas y hortalizas. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (189), 43-50.
- Álvarez-García, J. A., Santoyo, G., & Rocha-Granados, M. (2020). *Pseudomonas fluorescens*: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 16(1), 01-10.
- Antomarchi Boudet, A., Boicet Fabré, T., Durán Ricardo, S., & Meriño Hernández, Y. (2017). Efecto sobre el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de diferentes dosis de abono orgánico bocashi en condiciones agroecológicas. *Centro Agrícola*, 44(4), 37-42.
- Antomarchi, A. B., Calderón, V. E. C., Fabré, T. B., & Gomez, G. G. (2015). Efectos de diferentes dosis de abono orgánico tipo bocashi en indicadores morfológicos y productivos del

- cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) var. California Wonder. *Centro Agrícola*, 42(4), 5-9.
- Araya, J. A. C. (2021). Suelos supresivos y su papel en el manejo de enfermedades. *Revista Environment & Technology*, 2(1), 48-63. <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/index.php/envitech/article/view/35>
- Arseneault, T., Goyer, C. y Fillion, M. (2015). *Pseudomonas fluorescens* LBUM223 increases potato yield and reduces common scab symptoms in the field. *Fitopatología*, 105 (10), 1311-1317.
- Atoccca Chancos, A. J. P., y Barrios Rojas, A. K. (2018). Efecto de abonos líquidos artesanales en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) variedad rio grande en la zona media del valle de Ica de octubre 2017–abril 2018.
- Avendaño-Arrazate, C. H., Moreno-Pérez, E. D. C., Martínez-Damián, M. T., Cruz-Alvarez, O., & Vargas-Madríz, H. (2018). Calidad y comportamiento poscosecha de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* L.) por efectos de prácticas agronómicas. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 24(1), 13-26.
- Barquero, M. (1 de noviembre de 2021). CONARROZ pedirá aumento en precios del grano. *La Nación*. <https://www.nacion.com/economia/agro/conarroz-pedira-aumento-en-precios-del-grano/43LUAQXJSNGCNJL7UQBVGD5B2M/story/>
- Barreros Chiluisa, E. I. (2017). Efecto de la relación carbono/nitrógeno en el tiempo de descomposición del abono de cuy (*cavia porcellus*), enriquecido (Bachelor's thesis).
- Benito-Bautista, P., Arellanes-Juárez, N., & Pérez-Flores, M. E. (2016). Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 115-130.
- Bertsch, F. (2009). *Absorción de nutrimentos por los cultivos* [Archivo PDF]. San José, Costa Rica, ACCS, 170.
- Betancourt, P. y Pierre, F. (2013). Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. var. Alba) en casas de cultivo en Quíbor, estado Lara. *Bioagro*, 25(3), 181-188. <http://ve.scielo.org/pdf/ba/v25n3/art05.pdf>

- Braga, L. (2015). Evaluación de la capacidad promotora del crecimiento vegetal de una cepa de *Pseudomonas fluorescens* y la influencia de su inoculación sobre la comunidad microbiana de la rizósfera de alfalfa.
- Brenes, L. P., Jiménez, M. F. y Gamboa, M. (2015). *Diagnóstico de Pérdidas y Desperdicio de Alimenticio en dos canales de comercialización de la Agrocadena de Tomate Costarricense para su posterior Disminución*. Informe final de actividades de fortalecimiento, Tecnológico de Costa Rica, <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6458>
- Carrillo-Castañeda, G., Juárez-Muñoz, J., Ruiz-Landa, D. y Müller-García, R. (2000). Aumento del rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cuando la raíz se desarrolla colonizada por microorganismos. *Biotecnología aplicada*, 17(3), 171-176.
- Casierra-Posada, F. y Avendaño, Ó. A. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 300-307. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180314732015.pdf>
- Casierra-Posada, F., & Aguilar-Avendaño, Ó. E. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía colombiana*, 26(2), 300-307.
- Castelo, A. A., García, H. A., Castro, L., Lares, F., Arellano, M., Figueroa, P. y Gutiérrez, M. A. (2016). Compost de residuos de champiñón como mejorador de suelo y biofertilizante en producción de tomate. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 22(2), 83-94. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2016000200083&script=sci_abstract
- Castelo-Gutiérrez, A., Gutiérrez-Coronado, M., Arellano-Gil, M., Castro-Espinoza, L., Lares-Villa, F., & Figueroa-López, P. (2014). Calidad poscosecha y de rendimiento de tomate CV. Grandella bajo un sistema de producción orgánica y convencional en condiciones de casa sombra. In *Memoria del Congreso* (Vol. 15).
- Castelo-Gutiérrez, A., Gutiérrez-Coronado, M., Arellano-Gil, M., Castro-Espinoza, L., Lares-Villa, F., & Figueroa-López, P. (2014). Calidad postcosecha de tomate CV. Grandella

bajo un sistema de producción orgánica y convencional en condiciones de casa sombra. In *Memoria del Congreso* (Vol. 15).

Castillo-Aguilar, C. C. (2017). Evaluación de cepas de rizobacterias en la producción de plántulas de chile habanero. (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agro Productividad*, 10(12).

Cayuba, C. D., Cayuba, H., & Rojas, J. J. V. (2021). Crecimiento y desarrollo agronómico del tomate (*Solanum lycopersicum*), con dos tipos de abono orgánico en el municipio de Palos Blancos. *Revista Estudiantil AGRO-VET*, 5(1), 19-23.

Charles, N. J. y Martín, N. J. (2015). Uso y manejo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y humus de lombriz en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo sistema protegido. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 55-64.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362015000100007

Claude, E. B. (2018). Relaciones carbono- nitrógeno en fertilización de estanques y sistemas de biofloc. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/relaciones-carbono-nitrogeno-en-fertilizacion-de-estanques-y-sistemas-de-biofloc/>

Conforto, C., Correa, O. S., Rovea, A., Boxler, M., Rodríguez Grastorf, S., Minteguiaga, J y Vargas Gil, S. (2012). Influencia de la fertilización inorgánica sobre la actividad microbiana del suelo. [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F4A4F639EB835CEF85257AC5006D6E33/\\$FILE/18.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F4A4F639EB835CEF85257AC5006D6E33/$FILE/18.pdf)

Consejo Nacional de Productores (CNP). (2020). *Precios sugeridos Ferias del Agricultor, desde el 05- 06 de setiembre del 2020 hasta el 19- 21 de febrero del 2021*. Facebook. <https://www.facebook.com/simacrgocr>

Corrales-González, M., Rada, F., & Jaimez, R. (2016). Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción del cultivo de la gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolus ex Hook. f.). *Acta Agronómica*, 65(3), 255-260.

Cruz, Y. P., Alayón, J. A. y Morón, A. (2017). Efecto de la fertilización orgánica y de síntesis química en tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horn) en Calakmul, Campeche (México). *Avances en investigación agropecuaria*, 21(2).
<http://ww.ucol.mx/revaia/pdf/2017/mayo/3.pdf>

- Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M., & Moreno-Pérez, E. D. C. (2012). Conservación poscosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 18(3), 333-344.
- Cuellar, A. E., Cuéllar, E. E. y Martínez, O. T. (2018). Las alternativas orgánico-minerales y su influencia en la fertilidad biológica del suelo en altas densidades de plátano. *Agricultura Tropical*, 3(2).
[http://ojs.inivt.cu/index.php?journal=inivt&page=article&op=viewFile&path\[\]=69&path\[\]=AT03022017_1NP-014](http://ojs.inivt.cu/index.php?journal=inivt&page=article&op=viewFile&path[]=69&path[]=AT03022017_1NP-014)
- Delgado, J. F., Rodríguez, M. A. y Pulido, M. S. (2019). Efecto de *Gluconacetobacter diazotrophicus* en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances*, 21(3), 264-275. <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869483001/html/>
- Díaz, A., Alvarado, M., Allende, F. y Ortiz, F. E. (2016). Crecimiento, nutrición y rendimiento de calabacita con fertilización biológica y mineral. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(4), 445-453.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992016000400445
- Díaz, A., Gálvez, D. y Ortiz C, F. E. (2015). Bioinoculación y fertilización química reducida asociadas con el crecimiento de planta y productividad de sorgo. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 245-252.
<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/43416>
- Domene, R y Segura, M. (2014). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. *Fichas de transferencia*.
<https://www.cajamar.es/storage/documents/005-calidad-interna-1410512030-cc718.pdf>
- Durán, L. y Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 275-281.
http://www.mag.go.cr/rev_agr/v33n02_275.pdf
- Durán, L., & Henríquez, C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 31(1), 41-51.

- FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Capítulo 5. La calidad en Frutas y hortalizas. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO* 151. <https://www.fao.org/3/y4893s/y4893s00.htm#Contents>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2015). La FAO y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. <http://www.fao.org/3/a-i4997s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2016). World fertilizer trends and Outlook to 2019. Summary reports. Rome. <http://www.fao.org/3/a-i5627e.pdf>
- FAOSTAT. (20 de abril de 2019). *Dirección de estadística. Comparación de datos por países.* <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- Gamarra Lezcano, C. C., Díaz Lezcano, M. I., Vera de Ortíz, M., Galeano, M. D. P., & Cabrera Cardús, A. J. N. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46), 4-26.
- GCiC (Compañía Global de Mejoramiento de Cultivos). (2015). *Información de cultivo- Tomate.* <http://www.gcic-global.com/tomato/>.
- Gómez Patiño, K. (2013). Evaluación del efecto de los fertilizantes químicos y orgánicos en el suelo. Caso de estudio: cultivo de jitomate en invernadero tipo túnel. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/49249/Octubre%2c%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez, L. (2011). Evaluación del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) bajo diferentes condiciones de fertilización orgánica e inorgánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <https://doi.org/10.16194/j.cnki.31-1059/g4.2011.07.016>
- González-Fuentes, J. A., Lozano-Cavazos, C. J., Preciado-Rangel, P., Troyo-Diéguez, E., Rojas-Duarte, A., & Rodríguez-Ortiz, 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.

- Hadayat, N., De Oliveira, LM, Da Silva, E., Han, L., Hussain, M., Liu, X. y Ma, LQ (2018). Assessment of trace metals in five most-consumed vegetables in the US: Conventional vs. organic. *Environmental pollution*, 243, 292-300.
- Hemaprabha, E. y Balasaraswathi, R. (2008). Caracterización de la calidad interna y aislamiento de genes específicos de licopeno de tomate. *Revista de horticultura aplicada* , 10 (1), 24-29.
- Hernández, A. D., Montiel, R. C. y Pinedo, J. M. (2010). Comportamiento poscosecha de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) Var. California por efecto de la fertilización química y aplicación de lombrihumus. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 82-91. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81315093011.pdf>
- Hernández-Fuentes, A. D., Montiel, R. C., & Pinedo-Espinoza, J. M. (2010). Comportamiento poscosecha de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) var. california por efecto de la fertilización química y aplicación de lombrihumus. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 82-91.
- Iguarán, E. J. C., & Alzate, O. A. T. (2014). Hallazgos de la biosíntesis del etileno en frutas climatéricas y de los factores que afectan la ruta metabólica. *Alimentos Hoy*, 22(31), 46-63.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). (2019). Datos climáticos. Santa Lucía. <https://www.imn.ac.cr/mapa>
- Index Mundi. (2022). *Precio de mercado de la urea*. <https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=urea&meses=12>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2014). VI Censo Nacional Agropecuario. 1 ed. San José, Costa Rica. 146p. ISBN: 978-9968-683-96-8
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2022). Índices de precios al consumidor. <https://www.inec.cr/economia/indice-de-precios-al-consumidor>
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). (2013). Postcosecha de tomate. Control de calidad. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-ficha_n_6_-_control_de_calidad.pdf

- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). (2016). Programa Regional de Investigaciones e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola (UE/IICA). Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*).
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). (2016). El suelo y los abonos orgánicos. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>
- Kelly, S., y Bateman. A. (2010). Comparación de concentraciones de minerales en cultivos orgánicos y convencionales cultivados comercialmente: tomates (*Lycopersicon esculentum*) y lechugas (*Lactuca sativa*). ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.022>
- Koizumi, Y. P. C., Gamboa, J. A. A., & Ríos, A. M. (2017). Efecto de la fertilización orgánica y de síntesis química en tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horn) en Calakmul, Campeche (México). *Avances en investigación agropecuaria*, 41-53.
- Kumar, P., Roupael, Y., Cardarelli, M., & Colla, G. (2015). Effect of nickel and grafting combination on yield, fruit quality, antioxidative enzyme activities, lipid peroxidation, and mineral composition of tomato. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(6), 848-860.
- López, L. M. (2017). Manual técnico del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* (No. IICA F01). Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola IICA, San José (Costa Rica) Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria Unión Europea, Madrid (España).
- Madriz, M, M., Artola, J, M., Calero, O, I., Madrigal, M, N. y Salazar, Mora, A. (2022). Uso de bacterias promotoras de crecimiento (*Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *AgroUNA*. Edición No. 13. https://issuu.com/dabohe-una/docs/agrouna_edici_n_no.13
- Madriz, M. (2019). *Efecto del biocarbón, lombricompost y Robust® aplicados al suelo sobre el desarrollo y tolerancia del pepino (Cucumis sativus L.) a mosca blanca (Bemisia tabaci Gennadius) bajo condiciones de invernadero en Barva, Heredia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Costa Rica].

- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2007). Planeamiento de la agro-cadena del tomate en la región central sur de Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-4158.pdf>
- MAG-UCR-FITTACORI. (2002). *Biblioteca Virtual: Manual de Manejo Poscosecha de Tomate*. Obtenido de Norma Oficial de Tomate para consumo fresco- Presidencia de la República y MEIC 1998: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-poscosecha-tomate-cap-VI-VIII-anexo.pdf.
- Márquez, C., Cano-Ríos, P., Moreno, A., Figueroa, U., Sánchez-Chávez, E., De la Cruz-Lázaro, E. y Robledo-Torres, V. (2014). Efecto de la fertilización orgánica sobre el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette en invernadero. *ITEA*, 110, 3-17. https://www.researchgate.net/publication/258952883_Efecto_de_la_fertilizacion_organica_sobre_el_rendimiento_y_contenido_nutricional_de_tomate_saladette_en_invernadero_Effect_of_organic_fertilization_on_yield_and_nutrient_content_of_saladette_tomato_in
- MEIC-MAG. (2004). Decreto N 31890- MEIC- MAG-S Reglamento Técnico RTCR 379:2004 Tomate para consumo en estado fresco. <http://reventazon.meic.go.cr/informacion/gaceta/2004/julio/31890.pdf>
- Mian, S., Constantino, LV, Nunes, MP, Ventura, MU, Spinosa, WA, Hata, NN., & Gonçalves, LS (2021). Post-harvest quality and sensory acceptance of Italian tomatoes grown under organic, integrated and conventional management. *Horticultura Brasileira* , 39 , 417-424.
- Montes de Oca, P. y Mata, R. A. (1996). Clasificación de los suelos de la Finca Experimental Santa Lucía. *Ciencias Ambientales (Costa Rica)* (no. 12) p. 13-23. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/13001>
- Moposa, A. (2019). Evaluación bajo invernadero de fuentes de fertilización química y orgánica en tomate riñón (*Solanum lycopersicum Mill.*), en Salcedo (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Mora, M., Madríz, M. y Rojas, J. (2021). Efecto del lombricompost en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus L.*) para favorecer la producción sostenible bajo condiciones de invernadero en Barva, Heredia. *Ambientico*. <https://www.ambientico.una.ac.cr/revista->

ambientico/efecto-del-lombricompost-en-el-cultivo-de-rabano-raphanus-sativus-l-para-favorecer-la-produccion-sostenible-bajo-condiciones-de-invernadero-en-barva-heredia/

- Moreno Del Villar, J. S. (2010). Efecto del abonamiento sintético y orgánico en la actividad microbiana de suelos con diferente contenido de materia orgánica.
- Muilwijk, M., Heenan, S., Koot, A. y Van Ruth, SM (2015). Impact of Production Location, Production System, and Variety on the Volatile Organic Compounds Fingerprints and Sensory Characteristics of Tomatoes. *Journal of Chemistry*. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/981549>
- Muñoz, J. S. C. y Benavides, A. C. M. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción más limpia*, 5(2), 77-96. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552010000200007
- Murillo, R. A. L., Pérez, J. J. R., Cunuhay, K. A. E., Murillo, M. V. L., Quintana, F. V. L., Mero, M. V. C., & Rodríguez, J. C. G. (2016). Efecto de diferentes abonos orgánicos en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum*, L). *Biotecnia*, 18(3), 33-36.
- Murillo, R. A. L., Reyes Pérez, J. J., López Bustamante, R. J., Reyes Bermeo, M., Murillo Campuzano, G., & Sarmaniego Armijos, C. (2015). Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Centro Agrícola*, 42(4), 67-74.
- Naserzadeh, Y., Kartoolinejad, D., Mahmoudi, N., Zargar, M., Pakina, E., Heydari, M., ... & Kavhiza, NJ (2018). Nine strains of *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida*: Effects on growth indices, seed and yield production of *Carthamus tinctorius* L. *Research on Crops*, 19 (4).
- Nikfarjam, S. G., & Aminpanah, H. (2015). Effects of phosphorus fertilization and *Pseudomonas fluorescens* strain on the growth and yield of Faba bean (*Vicia faba* L.). *Idesia*, 33(4), 15-21.

- Okumoto, S. (2003). Uso de inoculante microbiano para la elaboración de abono orgánico. Universidad EARTH. *Taller de abonos orgánicos*, 3, 1-8. <https://docplayer.es/11977333-taller-de-abonos-organicos-3-y-4-de-marzo-2003.html>
- Omar, R. P., Jesús, O. G., Manuel, B. H., Jesús, L. E., Bernardo, M. A., Guillermo, H. M. y Dolores, V. D. (2015). Los fertilizantes biológicos en la agricultura. *Invurnus*, 10, 10-17. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/632/1/rueda_e2015vol10%281%29.pdf
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2019a). *Comunicado de prensa*. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2019b). *Creciendo a un ritmo menor, se espera que la población mundial alcanzará 9700 millones en 2050 y un máximo de casi 11000 millones alrededor del 2100: Informe de la ONU. Perspectivas de la población mundial*. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Universidad de Santiago de Chile. (2019). Medición y gestión de las pérdidas de frutas y vegetales en la etapa de producción para Chile. https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/from-crm/resumen_ejecutivo_usach.pdf
- Orozco, A. L., Valverde, M. I., Martínez, R., Chávez, C. y Benavides, R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 441-456. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000400441&script=sci_abstract
- Padilla, L. E., Lara, A., Reyes, E. & González, J. R. (2015). Assessing environmental management of tomato production under protected agriculture. *International Food and Agribusiness Management Review*, 18(1030-2016-83049), 193-210.
- Park, YS, Dutta, S., Ann, M., Raaijmakers, JM y Park, K. (2015). Promoción del crecimiento vegetal por la cepa SS101 de *Pseudomonas fluorescens* a través de nuevos compuestos

orgánicos volátiles. *Comunicaciones de investigación bioquímica y biofísica*, 461 (2), 361-365.

Pérez Cardozo, R., Pérez Cordero, A., & Vertel Morinson, M. (2020). Caracterización nutricional, físico-química y microbiológica de tres abonos orgánicos para uso en agro ecosistemas de pasturas en la subregión Sabanas del departamento de Sucre.

Pérez Negrón, S. (2012). Efecto de fertilizantes orgánicos sobre el rendimiento y calidad de tomate variedad Río Grande. Tesis de grado. Universidad Autónoma Agraria, Antonio Narro.

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5371/T19381%20%20LOPEZ%20PEREZNEGRON%2C%20SAUL%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pérez, A., Leyva, D. A. y Gómez, F. C. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 175-189.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342018000100175&script=sci_abstract

Pérez, H. A., Chávez, J., Carrillo, G., Rodríguez, M. D. L. N. y Ascencio, R. (2017). Fertilización foliar en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía bajo invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 333-343.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342017000200333&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Pérez, J. E. M. y Coto, M. L. (2019). Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero: comparación agronómica entre tipos de tomate. *Posgrado y Sociedad. Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado*, 17(1), 1-20.

<https://revistas.uned.ac.cr/index.php/posgrado/article/view/2488>

Perotti, E. B. R., Menéndez, L. T., Gaia, O. E., & Pidello, A. (2005). Supervivencia de *Pseudomonas fluorescens* en suelos con diferente contenido de materia orgánica. *Revista argentina de microbiología*, 37(2), 102-105.

Pisco, R. R. y Arenas, M. I. P. (2006). Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rábano

- rojo. (*Raphanus sativus* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 59(2), 3543-3556. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914075010.pdf>
- Pomareda, G. (3 de agosto de 2022). La comida sube de precio en un país que apuesta cada vez más por lo importado. *Semanario Universidad*. <https://semanariouniversidad.com/pais/la-comida-sube-de-precio-en-un-pais-que-apuesta-cada-vez-mas-por-lo-importado/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20los%20datos,la%20yuca%2015%2C80%25>.
- Quilismal, S. R. M., Ayala, S. F., Minda, J. C., Mejía, L. P., & Ruales, V. R. (2021). Alternativas de fertilización empleando bioestimulantes y biofertilizantes para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), en Montúfar-Carchi. *SATHIRI*, 16(1), 132-143.
- Rahmany, Kma y Zhang, D. (2018). Effects of fertilizer broadcasting on the excessive use of inorganic fertilizers and environmental sustainability.
- Ramos, D. y Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*, 35(4), 52-59. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007
- Ramos, D., Terry, E., Soto, F., Cabrera, A., Martín, G. M. y Fernández, L. (2016). Respuesta del cultivo del plátano a diferentes proporciones de suelo y Bocashi, complementadas con fertilizante mineral en etapa de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 165-174. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v37n2/ctr20216.pdf>
- Restrepo, R. J. (2014). Trofobiosis- Jairo Restrepo- Curso Vivencia Dehesa 2013 (Resumen). https://www.youtube.com/watch?v=qTAQx17A-_I
- Restrepo, Rivera, J y Agredo, España, D. (2020). Mierda a la carta. Un nuevo ABC de la agricultura orgánica. ISBN: 978-958-49-0235-1.
- Reyes, J. J., Luna, R. A., Reyes, M. D. R., Zambrano, D. y Vázquez, V. F. (2017). Fertilización con abonos orgánicos en el pimiento (*Capsicum annuum* L.) y su impacto en el rendimiento y sus componentes. *Centro Agrícola*, 44(4), 88-94. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v44n4/cag13417.pdf>

- Reyes, L. M., Jiménez, C. E. A., Montiel, M. G. C., Galdámez, J. G., Cabrera, J. A. M., Aguilar, F. B. M., & Padilla, E. G. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* l.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 26-37.
- Reyes-Pérez, J. J. (2018). 2. Efecto de abonos orgánicos sobre la respuesta productiva en el tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 35(1).
- Reyes-Ramírez, A., López-Arcos, M., Ruiz-Sánchez, E., Latournerie-Moreno, L., Pérez-Gutiérrez, A., Lozano-Contreras, M. G. y Zavala-León, M. J. (2014). Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*, 48(3), 285-294.
- Ricci, E., Schwinghamer, T., Fan, D., Smith, D. L. & Gravel, V. (2019). Growth promotion of greenhouse tomatoes with *Pseudomonas* sp. and *Bacillus* sp. biofilms and planktonic cells. *Ecología aplicada al suelo*. doi:10.1016/j.apsoil.2019.02.009
- Rivera, FM., Estrada, MA., Martínez, A., De la Cruz, E., y Martínez E. (2010). Evaluación de la pérdida de peso del tomate rojo (*Lycopersicum esculentum* Mill) en la etapa de poscosecha bajo tres diferentes temperaturas. *Tópicos selectos en agronomía tropical*. 227- 233.
- Rizo, E. (2015). ¿Qué afecta a los valores °Brix? *Hortalizas*. <https://www.hortalizas.com/cultivos/que-afecta-a-los-valores-brix/>
- Rizzardi, M. V. (2018). Efectos de la inoculación con hongos micorrícicos (*Glomus intraradices*) y bacterias BPCV (*Pseudomonas fluorescens*) sobre el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en vivero y en cultivo bajo invernadero.
- Robledo, O., Grosso, E., Zoppolo, R., Lercari, D., & Etchebehere, C. (2010). Producción de tomate y dinámica microbiológica del suelo de invernáculo al aplicar vermicompostas. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 14(1), 35-52.
- Rodríguez, C. A. (2013). *Evaluación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en tomate (Solanum lycopersicum L.) variedad Santa Clara, aislados de residuos lignocelulósicos de higerilla (Ricinus communis)* [Trabajo de grado de especialización, Universidad Católica de Manizales].

<https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/578/1/Cristian%20Alonso%20Rodriguez%20Gonzalez.pdf>

Rodríguez, T. S. (2020). *Evaluación de las bacterias Azospirillum brasilense y Pseudomonas fluorescens en maíz híbrido (Zea mays L.), en la Universidad Técnica de Babahoyo* [Tesis de Bachillerato, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/7269>

Rodríguez, V. P., Guzmán, A., Zapata, M. A. y Jaramillo Norña, J. (2018). *Manual técnico buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. Producción tecnológica AGROSAVIA.* <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13469>

Romero, O. E. T., & Duarte, D. D. A. (2021). Lombricultura: práctica de aprovechamiento a partir de residuos orgánicos. *Notas de Campus*, (1).

Ruiz, J. L. (2002). Tipos y especificaciones de calidad en el cultivo del tomate. *Vida rural*, 148, 1016-1020. https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_vrural%2FVrural_2002_148_42_46.pdf

Ruiz, J. L. P., Peña, Y. J., Carrera, J. S., & Santana, I. A. R. (2021). Empleo de biosólido como fertilizante en el cultivo de tomate. *Universidad & ciencia*, 10(2), 1-12.

Sahagún, C. P., & Oviedo, H. I. (2008). Evaluación de la acción de oligosacáridos en la calidad de tomate de cáscara. [http://www.ibugana.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionAgricola\(pp%201-86\)/GarciaSahagunMariaLuisa/31-36.pdf](http://www.ibugana.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionAgricola(pp%201-86)/GarciaSahagunMariaLuisa/31-36.pdf)

Saino, T. J. (2020). *Evaluación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/107101/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Serna, A., Hurtado Salazar, A. y Ceballos Aguirre, N. (2017). Efecto del ácido giberélico en el crecimiento, rendimiento y calidad del tomate bajo condiciones controladas. *Temas Agrarios*. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.946>
- Sharma, N., Shukla, YR, Thakur, KS, Mehta, DK, Singh, U. y Gupta, RK (2017). Evaluación del crecimiento, rendimiento y parámetros nutricionales del pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) según la influencia de las aplicaciones conjuntas de abonos orgánicos, PGPR y niveles variables de fertilizantes inorgánicos. *En t. J. Curr. Microbiol App. Sci* , 6 (10), 1780-1789.
- Soto, G. (2003). *Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. Taller de abonos orgánicos*. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 26-53.
- Soto, J. (9 de agosto de 2022). Costos de producción y de fertilizantes dispararon precio del tomate: Es 45% más caro que hace un año. *Monumental*. <https://www.monumental.co.cr/2022/08/09/costos-de-produccion-y-de-fertilizantes-dispararon-precio-del-tomate-es-145-mas-caro-que-hace-un-ano/>
- Soto-Mora, E. S., Hernández-Vázquez, M., Luna-Zendejas, H. S., Ortiz-Ortiz, E., & García-Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 98-102.
- Tapia-Vargas, L. M., Hernández-Pérez, A., & Hernández-Valencia, A. S. (2021). Respuesta del jitomate a la fertilización orgánica bajo condiciones de invernadero e hidroponía. *Contribuciones tecnológicas para el futuro forestal y agropecuario Veracruzano*.
- Terry-Alfonso, E., Ruiz-Padrón, J., & Carrillo-Sosa, Y. (2018). Efecto de diferentes manejos nutricionales sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 389-401.
- Tobar Bastidas, V. A. (2016). Determinación del efecto de un fertilizante orgánico líquido para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como alternativa ecológica de fertilización, en el municipio de Chachagui, departamento de Nariño. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12776>

- Tombion, L., Puerta, A. V., Barbaro, L. A., Karlanian, M. A., Sangiacomo, M. A. y Garbi, M. (2016). Características del sustrato y calidad de plantines de lechuga (*Lactuca sativa* L.) según dosis de lombricompost. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 32(2), 110-116. https://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v32n2/art_04.pdf
- Toro, V. (2017). *Evaluación de métodos de muestreo y dinámica poblacional de mosca blanca (Trialeurodes vaporariorum) en invernaderos para tomate (Lycopersicon esculentum), en el cantón Riobamba-Ecuador*. [Trabajo final de Investigación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6929/1/13T0845.pdf>
- Torres, D., Mendoza, B., Gomes, C., Almas, L., Hernandez, W., Carrero, L., & Escalona, A. (2018). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el crecimiento de tomate (*solanum lycopersicum*) en ambientes protegidos.
- Vaikuntapu, P. R., Dutta, S., Samudrala, R. B., Rao, V. R. V. N., Kalam, S. & Podile, A. R. (2014). Preferential Promotion of *Lycopersicon esculentum* (Tomato) Growth by Plant Growth Promoting Bacteria Associated with Tomato. *Indian Journal of Microbiology*. Doi:10.1007/s12088-014-0470-z
- Valadez, Y. M., Olivares, E., Vázquez, R. E., Esparza, J. R., Preciado, P., Valdez, R. D. y García, J. L. (2016). Calidad y concentración de capsaicinoides en genotipos de chile Serrano (*Capsicum annuum* L.) producidos bajo fertilización orgánica. *Phyton (Buenos Aires)*, 85(1), 21-26.
- Valenzuela Molina, M. (2018). Caracterización económica de la cadena agroalimentaria del tomate de uso industrial. https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/02/TomateIndustrial_2018.pdf
- Vanegas, J., Flórez-Zapata, N., & Uribe-Vélez, D. (2011). Bioprospección de microorganismos promotores de crecimiento vegetal para su aplicación en el cultivo de arroz. *Ecología de Microorganismos Rizosféricos Asociados a Cultivos de Arroz de Tolima y Meta*. Bogotá, D. C: Universidad Nacional de Colombia. pp, 151-178.

- Varela, O., Amecameca, C., Ayala, E. E., Universitario, P. A. H. G. C., Amecameca, U. A. E. M., Martínez, J. S., y Ruíz, A. O. A. (2019). Cadena de valor para detonar la lombricomposta en la zona sur oriente del estado de México. *Revista Global de Negocios*, 7(1), 83-93.
- Vásquez, J. D. J. (2018). Efecto de materia orgánica (gallinaza) en el cultivo de tomate Cherry (*Lycopersicum esculentum* Mill.), en el distrito de Lamas-Región San Martín. Universidad Nacional de San Martín. (Br.) *Ciencias Agrarias*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11458/2872>.
- Vázquez, P. V., López, M. Z. G., Cortez, M. C. N. y Hernández, D. G. (2015). Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 36, 1351-1356.
- Velecela, S. G. (2019). Pretratamiento de estiércol vacuno para producción de humus supresor a través de la interrelación de *Eisenia foetida* y microorganismos benéficos. (Doctorado en Ingeniería y Ciencias Ambientales). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vélez-Terreros, P., Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G., Simbaña-Farinango, K., Navarrete, H. (2021). Comparison of major nutrients and minerals between organic and conventional tomatoes. A review. *Journal of Food Composition and Analysis*- 100, 103922. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103922>.
- Velóz, A. O., Díaz, M. I. H., Nasarova, L., Mirta, J., Pulido, S. y Bullain, O. B. G.L. (sf). La fertilización con zinc como factor precosecha y su efecto en la producción, calidad externa y vida en anaquel en frutos de tomate.
- Vio, S., Galar, M. L., Martinez, S., Garbi, M., Polack, A., Lodeiro, A., & Luna, M. F. (2017). Efecto de inoculantes bacterianos sobre la producción de frutos en tomate. *Agrotecnia*, (25), 48.
- Vrcek, I. V., Samobor, V., Bojic, M., Saric, M. M., Vukobratovic, M., Erhatic, R. & Matotan, Z. (2011). The effect of grafting on the antioxidant properties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Spanish journal of agricultural research*, (3), 844-851.

Xavier, M. B. J. (2021). Eficacia agroproductiva del humus líquido y solido de lombriz en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en General Villamil, Playas [Doctoral dissertation, Universidad Agraria del Ecuador].

Yáñez Bustamante, W. D., Quevedo Guerrero, J. N., García Batista, R. M., Herrera Reyes, S. N., & Luna Romero, Á. E. (2020). Determinación de la relación carga química °Brix en hojas y frutos de banano clon williams (*Musa x paradisiaca*). *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 421-430.

YARA. (sf). Gestionar el sabor del tomate. Nutrición vegetal. <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/tomate/gestionar-el-sabor-del-tomate/#:~:text=El%20sabor%20del%20fruto%20se,%2C0%20y%204%2C5>.

ANEXOS

Anexo 1. Altura de las plantas de tomate bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*, expresado en centímetros (cm). Comparaciones de medias DGC (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

```
Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

mlm.modelo.002_Altura.cm_REML<-lme(Altura.cm~1+Tratamiento:Semana+Tratamiento
,random=list(Tratamiento.Repeticion=pdIdent(~1))
,method="REML")
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data02
,keep.data=FALSE)

Resultados para el modelo: mlm.modelo.002_Altura.cm_REML
Variable dependiente: Altura (cm)

Medidas de ajuste del modelo

n      AIC      BIC      logLik  Sigma R2 0 R2 1
1093 8106.26 8796.32 -3911.13 11.06 0.87 0.97
AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

              numDF denDF F-value p-value
(Intercept)      1    883 2422.06 <0.0001
Tratamiento       9     70  18.99 <0.0001
Tratamiento:Semana 130   883 124.92 <0.0001

Altura.cm - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Semana
DGC (Alfa=0.05)
Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento Semana Medias E.E.
BP      14      203.00 7.38 A
BP      13      201.00 7.38 A
BP      12      198.88 7.38 A
BP      11      196.25 7.38 A
LP      14      195.63 7.38 A
LP      13      193.31 7.38 A
LP      12      191.19 7.38 A
BP      10      187.38 7.38 A
LP      11      184.50 7.38 A
B       14      179.06 7.38 B
B       13      177.51 7.38 B
B       12      176.00 7.38 B
LP      10      175.13 7.38 B
BP      9       173.50 7.38 B
B       11      170.81 7.38 B
L       14      169.19 7.38 B
L       13      167.25 7.38 B
LP      9       165.75 7.38 B
L       12      165.00 7.38 B
B       10      164.50 7.38 B
L       11      160.13 7.38 B
B       9       157.69 7.38 B
BP      8       156.44 7.38 B
L       10      153.88 7.38 B
LP      8       149.63 7.38 B
B       8       147.81 7.38 B
L       9       146.63 7.38 B
BP      7       144.00 7.38 B
LP      7       139.56 7.38 C
L       8       136.81 7.38 C
I       14      135.33 8.08 C
CP      14      134.63 7.38 C
B       7       134.19 7.38 C
```

B	7	134.19	7.38	C
I	13	134.03	8.08	C
CP	13	132.69	7.38	C
BP	6	132.19	7.38	C
I	12	132.13	8.08	C
C	14	131.63	7.38	C
CP	12	130.85	7.38	C
C	13	130.08	7.38	C
IP	14	130.06	7.38	C
I	11	130.03	8.08	C
C	12	128.69	7.38	C
IP	13	128.50	7.38	C
LP	6	127.44	7.38	C
L	7	127.19	7.38	C
IP	12	126.81	7.38	C
CP	11	126.00	7.38	C
IP	11	124.19	7.38	C
B	6	122.81	7.38	C
IP	10	122.63	7.38	C
CP	10	121.88	7.38	C
I	10	121.33	8.08	C
IP	9	120.56	7.38	C
I	9	120.23	8.08	C
C	11	119.50	7.38	C
L	6	116.75	7.38	C
LP	5	116.31	7.38	C
BP	5	116.31	7.38	C
B	5	113.19	7.38	C
CP	9	113.00	7.38	C
I	8	112.53	8.08	C
IP	8	111.06	7.38	C
L	5	109.63	7.38	C
C	10	107.13	7.38	D
CP	8	104.25	7.38	D
C	9	101.88	7.38	D
IP	7	100.94	7.38	D
I	7	100.83	8.08	D
CP	7	95.31	7.38	D
T	14	92.62	7.38	D
T	13	91.19	7.38	D
C	8	90.63	7.38	D
LP	4	89.31	7.38	D
T	12	89.12	7.38	D
P	14	88.88	7.38	D
IP	6	88.06	7.38	D
BP	4	87.69	7.38	D
T	11	87.06	7.38	D
P	13	87.06	7.38	D
CP	6	86.89	7.38	D
T	10	86.12	7.38	D
L	4	85.94	7.38	D
T	9	85.44	7.38	D
P	12	85.38	7.38	D
P	11	82.62	7.38	D
T	8	82.50	7.38	D
I	6	82.07	7.79	D
B	4	80.87	7.38	D
P	10	79.87	7.38	D
C	7	79.69	7.38	D
T	7	79.62	7.38	D
P	9	78.56	7.38	D
P	8	76.81	7.38	D
CP	5	76.00	7.38	D
T	6	74.69	7.38	D
IP	5	74.56	7.38	D
P	7	72.69	7.38	D
LP	3	72.38	7.38	D
L	3	70.25	7.38	D
T	5	69.94	7.38	D
P	6	68.63	7.38	D
C	6	67.75	7.38	D
I	5	67.63	7.56	D
BP	3	64.88	7.38	D
P	5	64.44	7.38	D
C	5	58.00	7.38	E

B	3	57.44	7.38	E
IP	4	52.19	7.38	E
T	4	51.87	7.38	E
P	4	51.06	7.38	E
CP	4	50.56	7.38	E
I	4	49.81	7.38	E
LP	2	49.19	7.38	E
L	2	48.00	7.38	E
BP	2	42.75	7.38	E
C	4	42.63	7.38	E
I	3	38.63	7.38	E
T	3	38.50	7.38	E
P	3	37.56	7.38	E
CP	3	37.00	7.38	E
B	2	36.94	7.38	E
IP	3	36.25	7.38	E
LP	1	31.50	7.38	E
I	2	31.19	7.38	E
T	2	31.12	7.38	E
C	3	30.56	7.38	E
L	1	30.50	7.38	E
P	2	30.31	7.38	E
IP	2	28.75	7.38	E
CP	2	26.25	7.38	E
BP	1	25.50	7.38	E
C	2	25.06	7.38	E
I	1	24.44	7.38	E
T	1	23.37	7.38	E
IP	1	22.81	7.38	E
B	1	22.31	7.38	E
P	1	21.88	7.38	E
CP	1	20.62	7.38	E
C	1	20.00	7.38	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 2. Número de hojas bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*. Comparaciones de medias DGC (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.004_No.hojas_REML<-lme(No.hojas~1+Tratamiento:Semana+Tratamiento
,random=list(Tratamiento.Repeticion=pdIdent(~1))
,method="REML")
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data04
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.004_No.hojas_REML

Variable dependiente: No. hojas

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0	R2	1
861	3138.28	3655.88	-1457.14	1.26	0.90	0.97		

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	687	5053.26	<0.0001
Tratamiento	9	64	33.11	<0.0001
Tratamiento:Semana	100	687	141.08	<0.0001

No.hojas - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Semana

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Semana	Medias	E.E.	
BP	11	32.13	0.81	A
BP	10	31.88	0.81	A
LP	11	31.25	0.81	A
BP	9	30.75	0.81	A
LP	10	30.00	0.81	A
LP	9	29.38	0.81	A
B	11	26.13	0.81	B
L	11	26.00	0.81	B
L	10	25.88	0.81	B
L	9	25.63	0.81	B
B	10	25.63	0.81	B
BP	8	25.50	0.81	B
LP	8	25.38	0.81	B
B	9	24.63	0.81	B
L	8	23.38	0.81	C
BP	7	23.25	0.81	C
LP	7	22.88	0.81	C
B	8	22.25	0.81	C
LP	6	21.50	0.81	D
L	7	21.38	0.81	D
BP	6	21.00	0.81	D
B	7	20.75	0.81	D
CP	11	20.56	0.85	D
I	11	20.32	0.93	D
B	6	19.75	0.81	D
LP	5	19.75	0.81	D
C	11	19.65	0.85	D
CP	10	19.56	0.85	D
I	10	19.52	0.93	D
IP	11	19.41	0.85	D
L	6	19.38	0.81	D
I	9	19.32	0.93	D
BP	5	19.25	0.81	D

CP	9	19.19	0.85	D
B	5	18.87	0.81	D
C	10	18.77	0.85	D
LP	4	18.75	0.81	D
IP	10	18.66	0.85	D
C	9	18.52	0.85	D
L	5	18.38	0.81	D
IP	9	18.29	0.85	D
BP	4	18.00	0.81	D
CP	8	17.94	0.85	D
L	4	17.75	0.81	D
I	8	17.72	0.93	D
IP	8	17.41	0.85	E
C	8	17.15	0.85	E
B	4	16.88	0.81	E
CP	7	16.81	0.85	E
I	7	16.52	0.93	E
LP	3	16.13	0.81	E
IP	7	16.04	0.85	E
C	7	15.77	0.85	E
L	3	15.75	0.81	E
CP	6	15.31	0.85	E
BP	3	14.88	0.81	E
I	6	14.69	0.90	E
IP	6	14.66	0.85	E
C	6	14.40	0.85	E
B	3	14.00	0.81	F
I	5	13.69	0.90	F
CP	5	13.69	0.85	F
IP	5	13.41	0.85	F
T	8	13.11	0.85	F
T	11	13.11	0.85	F
T	10	13.11	0.85	F
T	9	13.11	0.85	F
C	5	12.77	0.85	F
LP	2	12.75	0.81	F
P	11	12.65	0.85	F
T	7	12.48	0.85	F
P	8	12.40	0.85	F
P	10	12.40	0.85	F
P	9	12.40	0.85	F
L	2	12.38	0.81	F
P	7	12.15	0.85	F
IP	4	12.04	0.85	F
T	6	11.98	0.85	F
T	5	11.86	0.85	F
I	4	11.82	0.85	F
CP	4	11.81	0.85	F
P	6	11.53	0.85	F
P	5	11.28	0.85	F
T	4	11.23	0.85	F
C	4	10.65	0.85	F
BP	2	10.63	0.81	F
P	4	10.53	0.85	F
I	3	10.32	0.85	F
CP	3	9.81	0.85	F
B	2	9.75	0.81	F
P	3	9.65	0.85	F
IP	3	9.54	0.85	F
LP	1	9.50	0.81	F
T	3	9.48	0.85	F
L	1	9.25	0.81	F
C	3	8.52	0.85	G
BP	1	8.37	0.81	G
I	2	8.19	0.85	G
P	2	8.15	0.85	G
T	2	7.98	0.85	G
IP	2	7.79	0.85	G
B	1	7.62	0.81	G
CP	2	7.44	0.85	G
I	1	7.32	0.85	G
P	1	7.15	0.85	G
T	1	7.11	0.85	G
IP	1	6.79	0.85	G
CP	1	6.69	0.85	G
C	2	6.65	0.85	G

C 1 6.27 0.85 G
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 3. Número de flores bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*. Comparaciones de medias DGC (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.005_Número.de.flores_REML<-lme(Número.de.flores~1+Tratamiento:Semana+Tratamiento
,random=list(Tratamiento.Repetición=pdIdent(~1))
,method="REML")
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data02
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.005_Número.de.flores_REML`

Variable dependiente: Número de flores

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0	R2	1
640	3165.31	3520.20	-1500.65	2.77	0.76	0.85		

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	490	821.17	<0.0001
Tratamiento	9	70	31.13	<0.0001
Tratamiento:Semana	70	490	17.72	<0.0001

Número.de.flores - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Semana

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Semana	Medias	E.E.	
LP	9	17.00	1.17	A
LP	6	16.50	1.17	A
BP	9	16.38	1.17	A
BP	4	16.25	1.17	A
L	4	15.75	1.17	A
BP	6	15.50	1.17	A
LP	8	15.50	1.17	A
LP	4	15.13	1.17	A
L	6	14.75	1.17	A
B	6	14.63	1.17	A
LP	7	14.13	1.17	A
BP	7	13.88	1.17	A
L	5	13.88	1.17	A
BP	8	13.38	1.17	A
BP	5	13.25	1.17	A
B	5	13.12	1.17	A
IP	9	12.63	1.17	A
LP	5	11.75	1.17	B
L	9	11.75	1.17	B
IP	8	11.75	1.17	B
L	7	11.25	1.17	B
B	4	11.25	1.17	B
L	8	11.00	1.17	B
CP	9	10.25	1.17	B
CP	8	10.00	1.17	B
B	9	9.87	1.17	B
B	7	9.50	1.17	B
IP	7	9.38	1.17	B
I	9	9.13	1.17	B
B	8	8.87	1.17	B
C	9	8.75	1.17	B
I	8	7.87	1.17	C

I	8	7.87	1.17	C
CP	7	7.62	1.17	C
CP	6	7.12	1.17	C
L	3	7.00	1.17	C
LP	3	6.87	1.17	C
IP	6	6.63	1.17	C
I	7	6.62	1.17	C
C	8	5.88	1.17	C
BP	3	5.88	1.17	C
C	6	5.88	1.17	C
CP	5	5.25	1.17	C
C	7	4.88	1.17	C
B	3	4.13	1.17	C
I	6	4.12	1.17	C
C	5	3.38	1.17	D
T	8	3.37	1.17	D
CP	4	3.25	1.17	D
P	8	3.25	1.17	D
T	9	3.12	1.17	D
P	9	2.75	1.17	D
T	7	2.75	1.17	D
IP	5	2.63	1.17	D
T	6	2.50	1.17	D
P	7	2.37	1.17	D
I	5	2.13	1.17	D
LP	2	2.00	1.17	D
T	5	2.00	1.17	D
C	4	1.75	1.17	D
CP	3	1.62	1.17	D
L	2	1.50	1.17	D
P	6	1.50	1.17	D
I	4	1.00	1.17	D
I	3	1.00	1.17	D
P	5	1.00	1.17	D
IP	3	0.88	1.17	D
IP	4	0.88	1.17	D
P	4	0.75	1.17	D
BP	2	0.62	1.17	D
C	3	0.50	1.17	D
P	3	0.37	1.17	D
CP	2	0.13	1.17	D
T	2	0.13	1.17	D
B	2	0.13	1.17	D
T	4	0.12	1.17	D
P	2	0.00	1.17	D
T	3	0.00	1.17	D
IP	2	0.00	1.17	D
I	2	0.00	1.17	D
C	2	0.00	1.17	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 4. Número de racimos bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*. Comparaciones de medias LSD Fisher (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_Numero.de.racimos_REML<-lme(Numero.de.racimos~1+Tratamiento
,random=list(Tratamiento.Numero.de.racimos=pdIdent(~1))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data01
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.001_Numero.de.racimos_REML`

Variable dependiente: `Numero.de.racimos`

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma R2	0	R2	1
75	-2900.88	-2874.79	1462.44	0.00	0.72	1.00	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	45	364.56	<0.0001
Tratamiento	9	20	9.33	<0.0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	45	359.53	<0.0001
Tratamiento	9	20	9.33	<0.0001

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
1 Tratamiento	9	20	9.33	<0.0001

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: `pdIdent`
 Formula: `~1|Tratamiento.Numero.de.racimos`

Desvíos estándares relativos al residual y correlaciones

(const)	
(const)	3203687397596007.00

Numero.de.racimos - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
B	8.50	1.19	A
BP	8.25	0.84	A
LP	7.60	0.75	A
L	7.50	0.84	A
C	4.80	0.75	B
IP	4.50	0.84	B
CP	4.33	0.97	B C
I	3.50	0.84	B C D
P	1.78	0.79	C D
T	1.70	0.75	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 5. Número de tomates bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*. Comparaciones de medias DGC (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.007_Numero.de.tomates_REML<-lme(Numero.de.tomates~1+Tratamiento
,random=list(Tratamiento.Repeticion=pdIdent(~1))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data07
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.007_Numero.de.tomates_REML`

Variable dependiente: `Numero.de.tomates`

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	O	R2	l
79	327.39	354.20	-151.70	0.66	0.94	1.00		

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	69	2697.40	<0.0001
Tratamiento	9	69	114.72	<0.0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	69	2712.29	<0.0001
Tratamiento	9	69	114.72	<0.0001

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
1 Tratamiento	9	69	114.72	<0.0001

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: `pdIdent`
 Formula: `~1|Tratamiento.Repeticion`

Desvíos estándares relativos al residual y correlaciones

(const)	
(const)	2.67

Numero.de.tomates - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento
 DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
BP	20.88	0.66	A
LP	20.75	0.66	A
B	15.88	0.66	B
L	15.38	0.66	B
C	9.38	0.66	C
IP	9.29	0.71	C
CP	9.13	0.66	C
I	6.75	0.66	D
T	1.25	0.66	E
P	1.13	0.66	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 6. Peso de los tomates bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*. Comparaciones de medias DGC (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_Promedio_REML<-lme(Promedio~1+Tratamiento
,random=list(Tratamiento.Repeticion=pdIdent(~1))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data01
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.001_Promedio_REML`

Variable dependiente: Promedio

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0	R2	1
67	546.08	570.60	-261.04	7.04	0.79	1.00		

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	57	1418.04	<0.0001
Tratamiento	9	57	24.32	<0.0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	57	1880.21	<0.0001
Tratamiento	9	57	24.32	<0.0001

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
1 Tratamiento	9	57	24.32	<0.0001

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: `pdIdent`
 Formula: `~1|Tratamiento.Repeticion`

Desvíos estándares relativos al residual y correlaciones

	(const)
(const)	2.67

Promedio - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento
 DGC (Alfa=0.05)
 Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
LP	163.40	7.09	A
L	136.32	7.09	B
BP	131.44	7.09	B
B	123.96	7.09	B
C	103.56	7.09	C
CP	95.00	7.09	C
IP	61.28	7.58	D
T	58.25	10.03	D
I	56.24	8.97	D
P	48.17	11.58	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 7. Sólidos solubles totales de los frutos de tomate bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*, expresado en °Brix. Comparaciones de medias LSD Fisher (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.000_Brix_REML<-gls(Brix~1+Tratamiento
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00)
```

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.000_Brix_REML`
Variable dependiente: ° Brix

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	O
71	156.85	180.07	-67.43	0.62	0.64	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6248.74	<0.0001
Tratamiento	9	11.93	<0.0001

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	9	61	11.93	<0.0001

Brix - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
I	7.39	0.22	A
IP	6.83	0.22	A
L	5.91	0.22	B
BP	5.89	0.22	B
LP	5.79	0.22	B C
B	5.59	0.22	B C
P	5.30	0.36	B C D
CP	5.16	0.22	C D
T	5.12	0.25	C D
C	4.79	0.25	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 8. Acidez de frutos de tomate bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*, expresado en pH. Comparaciones de medias LSD Fisher (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.002_Promedio_REML<-lme(Promedio~1+Tratamiento+Repeticion
,random=list(Tratamiento.Repeticion=pdIdent(~1))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data02
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.002_Promedio_REML`

Variable dependiente: Promedio

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0	R2	1
61	13.20	47.10	12.40	0.05	0.62		1.00	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	44	44972.19	<0.0001
Tratamiento	9	44	7.27	<0.0001
Repeticion	7	44	0.83	0.5652

Promedio - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
LP	4.31	0.05	A
CP	4.31	0.05	A
B	4.29	0.05	A
BP	4.27	0.05	A
L	4.23	0.05	A
C	4.18	0.05	A B
T	4.18	0.10	A B
P	4.16	0.08	A B
I	4.03	0.08	B C
IP	3.87	0.05	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 9. Dureza de frutos de tomate bajo diferentes fertilizaciones orgánicas, inorgánica con y sin inocular con *P. fluorescens*, expresado en Newton (N). Comparaciones de medias LSD Fisher (Alfa 0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.000_Dureza_REML<-glm(Dureza~1+Tratamiento
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.000_Dureza_REML

Variable dependiente: Dureza

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
68	269.02	291.68	-123.51	1.73	0.18	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1214.19	<0.0001
Tratamiento	9	1.40	0.2095

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1369.37	<0.0001
Tratamiento	9	1.40	0.2095

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
1 Tratamiento	9	58	1.40	0.2095

Dureza - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
LP	9.01	0.61	A
BP	8.38	0.61	A B
L	8.14	0.61	A B
B	8.11	0.61	A B
CP	7.99	0.61	A B
C	7.35	0.71	A B
T	7.00	0.71	B
IP	6.98	0.65	B
P	6.67	1.00	B
I	6.67	0.71	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 10. Total de lluvia mensual (mm), temperaturas promedio (°C) y humedades relativas promedio (%) en los meses en los que se desarrolló la tesis.

Total de lluvia mensual (mm)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2020						398.4	160.8	238.0	445.2	459.8	357.0	36.6
2021	7.2	0.0	64.2	363.6	166.4							
Promedio mensual de la temperatura (°C)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2020						19.4	19.6	19.3	18.8	18.9	18.6	18.8
2021	19	19	19	19.3	19.5							
Promedio mensual de la humedad relativa (%)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2020						81	75	78	82	82	84	70
2021	67	64	63	74	77							

Nota. Se aprecian marcadas en amarillo las condiciones climáticas del mes de octubre (fecha de siembra) y las humedades relativas más altas en los meses de octubre y noviembre (Periodo de desarrollo de la tesis). Datos de la Finca Experimental Santa Lucía (FESL), suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

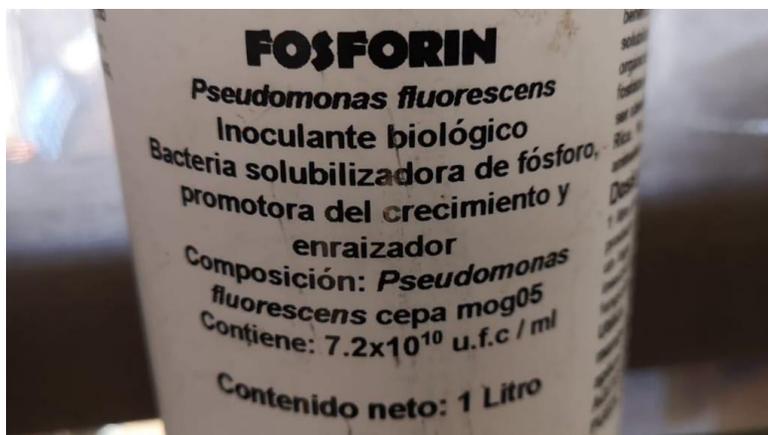
Anexo 11. Precios del kg de tomate desde el 5 de setiembre del 2020, hasta el 21 de febrero del 2021.

Precio (₡)	Mes
625	05-06 setiembre 2020
425	12-13 setiembre 2020
425	19-20 setiembre 2020
700	26-27 setiembre 2020
725	03-04 octubre 2020
675	10-11 octubre 2020
700	17-18 octubre 2020
950	24-25 octubre 2020

1100	31 oct-1 noviembre 2020
1375	07-08 noviembre 2020
1200	21-22 noviembre 2020
1350	28-29 noviembre 2020
1350	05-06 diciembre 2020
1689	12-13 diciembre 2020
1177	22-24 enero 2021
960	29-31 enero 2021
775	05-07 febrero 2021
635	12-14 febrero 2021
610	19-21 febrero 2021

Nota. En la tabla se representa el aumento de precio en los meses de cosecha (marcados en verde) debido al desabastecimiento provocado por malas condiciones climáticas en el país. (Consejo Nacional de Productores [CNP], 2020).

Anexo 12. Concentración de la bacteria *P. fluorescens* descrita en la etiqueta del producto comercial.



Anexo 13. Concentración de la bacteria *P. fluorescens* descrita en el análisis microbiológico realizado en el CIA, UCR.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CIA Centro de
Investigaciones
Agronómicas

Reporte de Resultados de Ensayo

Número de Solicitud: 75395 **Fecha de emisión del reporte:** 19/10/20
Información del Usuario:
Nombre: JHONSON MORA MATA
Correo: jhonsonmora99@gmail.com
Subcliente: --
Dirección: HEREDIA, HEREDIA, HEREDIA
Contacto: JHONSON MORA MATA
Teléfono: 8618-8111

Resultados del ensayo

ID. Lab.	ID. Cliente	Bacterias totales UPC/g
MI-458-20	PSEUDOMONAS FLUORESCENS	4,0X10 ⁵