

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE NUTRICION ANIMAL



EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA AGRONÓMICA DEL TOMATE
(*Solanum lycopersicum*) A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTE TIPO
BOCASHI EN SUELO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Por:

LUCIA RODRIGUEZ OLVERA

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el título De:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA AGRONÓMICA DEL TOMATE
(*Solanum lycopersicum*) A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTE TIPO
BOCASHI EN SUELO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

POR:

LUCIA RODRIGUEZ OLVERA

TESIS

**QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por:

Dr. José Eduardo García Martínez
Director de tesis

Dr. José Antonio González Fuentes
Asesor

Dr. José Antonio Hernández Herrera
Asesor

Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Asesor

M.C. Pedro Carrillo López
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 27 de Marzo de 2026

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los aspectos siguientes. Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin utilizar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo, tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de esto materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Lucia Rodríguez Olvera

Lucia Rodríguez Olvera

RESUMEN

La evaluación sobre la efectividad biológica de un fertilizante tipo Bocashi procesado e inoculado con bacterias aeróbicas y termofílicas, aplicado al suelo en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones de invernadero, El fertilizante tipo Bocashi procesado, suministrado por una empresa, fue inoculado con una mezcla de bacterias aeróbicas y termofílicas durante la fase de preparación. El ensayo se estableció mediante un diseño de bloques completos al azar con ocho tratamientos Bocashi inoculado y testigo absoluto, con cuatro repeticiones por tratamiento y unidades experimentales de 4 plantas. Se evaluaron variables de crecimiento vegetativo (altura, número de hojas), rendimiento (número y peso de frutos) y calidad de fruto (°Brix, firmeza, color), además de la presencia de posibles efectos fitotóxicos mediante observación de síntomas y mediciones de vigor. Los datos fueron analizados mediante ANOVA. Se encontró que el Bocashi inoculado mejoró significativamente la materia orgánica y la actividad microbiana del suelo, promoviendo mayor crecimiento vegetativo y un incremento en rendimiento y sólidos solubles de los frutos respecto al testigo; no se detectaron efectos fitotóxicos relevantes. Estos resultados sugieren que el Bocashi inoculado con bacterias aeróbicas y termofílicas constituye una alternativa sostenible para mejorar la productividad y la calidad del tomate en invernadero, contribuyendo a la salud y fertilidad del suelo.

Palabras clave: Bocashi; bacterias aeróbicas; tomate; fertilización orgánica.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	8
Objetivo general.....	10
Objetivos particulares.....	10
Hipótesis.....	10
REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
II.1. Tomate de invernadero en México (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	11
II.2. Fertilización de tomate.....	12
II.3. Bocashi.....	13
II.4. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en agricultura.....	14
II.5. Bocashi + microorganismos.....	16
II.6. Variables de calidad del fruto.....	16
II.7. Correlaciones entre variables.....	17
MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
Área de experimentación.....	18
III.2 Material vegetal.....	18
III.3 Bocashi comercial: origen, caracterización y manejo.....	18
III.4 Diseño experimental.....	19
III.5 Tratamientos evaluados.....	19
III.6 Aplicación de tratamientos.....	20
Manejo del cultivo.....	21
III.8 Variables evaluadas en el experimento.....	21
III.8.1 Peso fresco.....	21
III.8.2 Firmeza.....	21
III.8.3 pH.....	21
III.8.4 Color del fruto.....	21
III.8.5 Tamaño.....	21
III.8.6 Grados Brix.....	22
RESULTADOS.....	22
DISCUSIÓN.....	29
CONCLUSIONES.....	32
RECOMENDACIONES.....	34
LITERATURA CITADA.....	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el experimento.....	20
Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza para las variables evaluadas.....	22
Cuadro 3. Medias por tratamiento y agrupación de Tukey.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Número de frutos por planta en función del tratamiento.....	24
Figura 2. Número de racimos por planta en función del tratamiento.....	24
Figura 3. Peso promedio del fruto en función del tratamiento.....	25
Figura 4. Diámetro polar promedio del fruto en función del tratamiento.....	26
Figura 5. Diámetro ecuatorial 1 promedio del fruto en función del tratamiento.....	27
Figura 6. Diámetro ecuatorial 2 promedio del fruto en función del tratamiento.....	28

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna enfrenta un reto fundamental: producir alimentos de alta calidad mientras se conservan los recursos naturales y se fortalece la salud del suelo. En este escenario, el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones de invernadero representa una de las estrategias más eficientes para garantizar rendimiento, uniformidad y calidad comercial, al permitir el control del microclima, el riego y la nutrición (FAO, 2013). Sin embargo, la intensificación productiva ha incrementado el uso de fertilizantes sintéticos, lo que ha generado preocupaciones relacionadas con la degradación del suelo, la disminución de la actividad biológica y el aumento en los costos de producción.

Ante esta problemática, la fertilización orgánica surge como una alternativa orientada a restaurar la dinámica natural del suelo. Dentro de estas prácticas, el fertilizante tipo bocashi destaca por ser un abono fermentado que integra materiales orgánicos sometidos a procesos microbiológicos controlados, favoreciendo la liberación gradual de nutrientes y la activación de la microbiota del suelo (Restrepo Rivera, 2007). Cuando este fertilizante es inoculado con microorganismos específicos, como la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), se potencia su efecto biológico, ya que estos organismos participan en procesos fermentativos, estimulan la actividad microbiana y pueden contribuir indirectamente a mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

En sistemas de producción bajo invernadero, donde el ambiente puede ser regulado, el manejo nutricional desempeña un papel decisivo en el desarrollo del cultivo y en la calidad del fruto (Hochmuth y Hochmuth, 2018). La calidad del tomate no se limita únicamente al rendimiento, sino que se expresa a través de características físicas y químicas que determinan su aceptación en el mercado y su valor nutricional. Variables como el peso fresco y el tamaño reflejan el crecimiento y la acumulación de biomasa; el porcentaje de humedad está relacionado con la turgencia y vida de anaquel; la firmeza influye en la resistencia al manejo postcosecha; el pH impacta en la estabilidad y sabor del fruto; el color está vinculado a la síntesis de pigmentos como el licopeno; y los sólidos solubles totales (°Brix) se asocian con el contenido de azúcares y la percepción sensorial (Avasiloaiei et al., 2025).

La interacción entre suelo, microorganismos y planta constituye un sistema dinámico donde los procesos biológicos pueden modificar significativamente la respuesta productiva del cultivo, ya que la actividad microbiana influye en la disponibilidad de nutrientes, la estructura del suelo y el desarrollo radicular (Vessey, 2003; Altieri y Toledo, 2011). En este sentido, evaluar el efecto de un fertilizante tipo Bocashi inoculado con *S. cerevisiae* aplicado al suelo permite analizar no solo el impacto en el crecimiento vegetal, sino también en los atributos de calidad del fruto bajo condiciones controladas de invernadero, donde el manejo nutrimental y biológico del suelo es determinante (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015; González-Rodríguez et al., 2023).

Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto biológico del fertilizante tipo Bocashi inoculado con *S. cerevisiae* en el cultivo de tomate bajo invernadero, considerando variables de calidad física y química del fruto como peso fresco, porcentaje de humedad, firmeza, pH, color, tamaño y grados Brix, las cuales son indicadores ampliamente utilizados para determinar calidad comercial y nutricional en tomate (Dorais et al., 2001; Martínez-Valverde et al., 2002). Este estudio busca aportar evidencia científica que contribuya al desarrollo de prácticas de fertilización más sostenibles, capaces de integrar productividad, calidad y manejo responsable del suelo en sistemas agrícolas protegidos

I.1 Objetivo general

Evaluar el efecto biológico del fertilizante tipo bocashi aplicado al suelo en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, mediante el análisis de variables físicas y químicas de calidad del fruto.

I.1.1 *Objetivos particulares*

- Determinar el efecto de los tratamientos sobre el peso fresco del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum*).
- Evaluar el porcentaje de humedad del fruto en cada tratamiento aplicado.
- Medir la firmeza del fruto como indicador de calidad postcosecha.
- Analizar el pH del fruto como parámetro químico asociado a la calidad.
- Determinar el color del fruto mediante evaluación instrumental como indicador de calidad comercial.
- Medir el tamaño del fruto como variable física relacionada con el rendimiento comercial.
- Cuantificar el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) como indicador de calidad organoléptica.

I.2 Hipótesis

La aplicación al suelo de fertilizante tipo bocashi inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* bajo condiciones de invernadero mejora significativamente las variables de calidad del fruto (peso fresco, porcentaje de humedad, firmeza, pH, color, tamaño y grados Brix) en el cultivo de tomate.

La aplicación al suelo de fertilizante tipo Bocashi inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* bajo condiciones de invernadero no produce diferencias significativas en las variables de calidad del fruto (peso fresco, porcentaje de humedad, firmeza, pH, color, tamaño y sólidos solubles totales °Brix) en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*).

II. REVISION DE LITERATURA

II.1. Tomate de invernadero en México (*Solanum lycopersicum L.*)

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) representa una de las hortalizas de mayor importancia económica en México, tanto por su superficie cultivada como por su valor de exportación, posicionándose como uno de los principales productos hortícolas del país (SAGARPA, 2017). En las últimas décadas, la producción bajo condiciones de invernadero ha crecido de manera significativa, debido a que permite un mayor control ambiental, mejor eficiencia en el uso del agua y nutrientes, así como una reducción en la incidencia de plagas y enfermedades (SAGARPA, 2017).

El sistema de producción en invernadero se ha convertido en una alternativa estratégica para mejorar el rendimiento y la calidad del fruto, especialmente en regiones con variabilidad climática marcada (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015). De acuerdo con Gómez-Merino y Trejo-Téllez (2015), el manejo nutrimental en sistemas protegidos es un factor determinante para optimizar el crecimiento, la productividad y las características físicoquímicas del fruto. En este contexto, la transición hacia esquemas de producción orgánica ha generado interés, ya que busca mantener la fertilidad del suelo mediante insumos naturales y prácticas sostenibles (Altieri y Toledo, 2011)

La agricultura orgánica aplicada al cultivo de tomate en invernadero se fundamenta en el uso de fertilizantes orgánicos, compostas, microorganismos benéficos y biofertilizantes que favorecen la actividad biológica del suelo (Altieri y Toledo, 2011). Según Altieri y Toledo (2011), el enfoque agroecológico fortalece la resiliencia de los sistemas agrícolas, promoviendo ciclos cerrados de nutrientes y reduciendo la dependencia de insumos sintéticos. En México, este modelo ha cobrado relevancia por la creciente demanda de productos libres de residuos químicos y con mayor valor agregado (SAGARPA, 2017).

Asimismo, Fortis-Hernández et al. (2009) señalan que el uso de fuentes orgánicas de fertilización en tomate puede mejorar propiedades del suelo como la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad microbiana, lo cual impacta positivamente en el desarrollo vegetativo y la calidad del fruto. En condiciones de invernadero, estos

beneficios pueden potenciarse debido al control de variables como temperatura, humedad y fertirriego (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015).

Desde una perspectiva productiva, el reto en la agricultura orgánica bajo invernadero consiste en equilibrar el rendimiento con la sostenibilidad (Altieri & Toledo, 2011). Aunque los rendimientos pueden ser ligeramente menores en comparación con sistemas convencionales altamente tecnificados, diversos estudios en México demuestran que la calidad del fruto, particularmente en contenido de sólidos solubles y firmeza, puede mantenerse en niveles competitivos (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015).

En este sentido, el cultivo de tomate bajo invernadero con manejo orgánico representa una alternativa viable para fortalecer la sustentabilidad agrícola, conservar la salud del suelo y responder a mercados que demandan alimentos producidos bajo principios ambientales responsables (Altieri y Toledo, 2011).

II.2. Fertilización de tomate

La fertilización es uno de los factores más importantes en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), ya que influye directamente en el crecimiento vegetal, rendimiento y calidad del fruto (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015). En sistemas convencionales, la nutrición se basa principalmente en fertilizantes sintéticos de alta solubilidad; sin embargo, en la agricultura orgánica el enfoque se orienta al uso de fuentes naturales que favorezcan la fertilidad del suelo a largo plazo (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015).

En el cultivo de tomate bajo esquemas orgánicos, la aplicación de compostas, estiércoles estabilizados y abonos orgánicos ha mostrado efectos positivos sobre la estructura del suelo, la actividad microbiana y la disponibilidad gradual de nutrientes (Fortis-Hernández et al., 2009). Estos insumos no solo aportan nitrógeno, fósforo y potasio, sino que también mejoran propiedades físicas y biológicas del suelo, lo cual es fundamental para mantener un sistema productivo sostenible (Fortis-Hernández et al., 2009).

Además, la fertilización orgánica promueve una nutrición más equilibrada y puede influir en parámetros de calidad como firmeza, contenido de sólidos solubles y acidez del fruto (Dorais et al., 2001). De acuerdo con Gómez-Merino y Trejo-Téllez (2015), el manejo adecuado de las fuentes orgánicas en tomate requiere considerar la dinámica de mineralización y la demanda nutrimental del cultivo para evitar deficiencias durante etapas críticas de desarrollo.

En este sentido, la fertilización orgánica en tomate representa una alternativa viable para reducir el impacto ambiental de la agricultura convencional y fortalecer la salud del suelo, siempre que se realice con una planeación nutrimental adecuada y basada en análisis previos (Altieri y Toledo, 2011).

II.3. Bocashi

El Bocashi es un abono orgánico fermentado que ha cobrado importancia en los sistemas de agricultura orgánica debido a su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo y aportar nutrientes esenciales de manera gradual y equilibrada (González-Rodríguez et al., 2023). Su elaboración se basa en un proceso de fermentación controlada de materiales orgánicos como estiércol, residuos vegetales, tierra, salvado o cascarilla de arroz, así como fuentes de carbono y energía como la melaza (Mendivil-Lugo et al., 2020). Durante este proceso se promueve una intensa actividad microbiana que acelera la descomposición de la materia orgánica, permitiendo obtener un fertilizante estable en un periodo relativamente corto (Mendivil-Lugo et al., 2020).

La composición química del Bocashi depende directamente de los materiales utilizados; sin embargo, diversos estudios coinciden en que contiene macronutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), además de calcio (Ca), magnesio (Mg) y micronutrientes como hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn). Estos elementos son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que participan en procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la formación de tejidos y la síntesis de compuestos estructurales. Además del aporte nutrimental, el Bocashi incrementa el contenido de materia orgánica del suelo y favorece la actividad microbiana, lo que contribuye a una mayor disponibilidad de nutrientes mediante procesos de mineralización progresiva (González-Rodríguez et al., 2023).

Desde el punto de vista agronómico, el uso del Bocashi se asocia con mejoras en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Se ha reportado que su aplicación puede influir positivamente en el pH, la capacidad de intercambio catiónico y la retención de humedad, creando condiciones más favorables para el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes por parte de las plantas (Mendivil-Lugo et al., 2020). Asimismo, investigaciones realizadas en cultivos hortícolas indican que la fertilización con Bocashi puede favorecer variables de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo cuando se integra dentro de esquemas de manejo orgánico (López-Tolentino et al., 2023).

La composición química del Bocashi depende directamente de los materiales utilizados; sin embargo, diversos estudios coinciden en que contiene macronutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, además de calcio, magnesio y micronutrientes (González-Rodríguez et al., 2023). Además del aporte nutrimental, el Bocashi incrementa el contenido de materia orgánica del suelo y favorece la actividad microbiana, lo que contribuye a una mayor disponibilidad de nutrientes mediante procesos de mineralización progresiva (González-Rodríguez et al., 2023).

Desde el punto de vista agronómico, el uso del Bocashi se asocia con mejoras en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Mendivil-Lugo et al., 2020). Asimismo, investigaciones realizadas en cultivos hortícolas indican que la fertilización con Bocashi puede favorecer variables de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo cuando se integra dentro de esquemas de manejo orgánico (López-Tolentino et al., 2023).

II.4. *Saccharomyces cerevisiae* en agricultura

Dentro de los sistemas de fertilización orgánica, el componente biológico juega un papel fundamental en la transformación y disponibilidad de nutrientes en el suelo, ya que los microorganismos participan activamente en procesos de mineralización, fijación y solubilización de elementos esenciales (Vessey, 2003). En este contexto, *S. cerevisiae* ha sido reconocida como un microorganismo con potencial agrícola, especialmente cuando se integra en procesos de fermentación como los que ocurren durante la elaboración del Bocashi (Higa y Parr, 1994). Aunque tradicionalmente esta levadura ha sido utilizada en la industria alimentaria y en procesos fermentativos, investigaciones recientes han destacado su posible función como bioestimulante y promotor indirecto del crecimiento vegetal, debido a la

producción de metabolitos y compuestos bioactivos que pueden influir en el desarrollo de las plantas (Hernández-Fernández et al., 2021).

Durante la fermentación del Bocashi, *S. cerevisiae* participa activamente en la descomposición de la materia orgánica, favoreciendo la liberación progresiva de nutrientes y la producción de vitaminas, aminoácidos y compuestos orgánicos que pueden estimular la actividad microbiana del suelo (Hernández-Fernández et al., 2021). González-Rodríguez et al. (2023) señalan que uno de los principales aportes del Bocashi en sistemas orgánicos es el incremento de la biomasa microbiana y la mejora de la dinámica nutrimental, aspectos en los que microorganismos como las levaduras desempeñan un papel relevante dentro del equilibrio biológico del suelo.

Desde el punto de vista agronómico, la presencia de *S. cerevisiae* en abonos fermentados puede contribuir a mejorar la estructura biológica del suelo, estimular procesos de mineralización y favorecer la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas (Vessey, 2003). Algunos estudios han documentado que las levaduras pueden producir compuestos que actúan como reguladores del crecimiento vegetal o que facilitan la solubilización de ciertos nutrientes, lo que repercute en un mejor desarrollo radicular y mayor eficiencia en la absorción nutrimental (Hernández-Fernández et al., 2021).

En la agricultura orgánica, la incorporación de microorganismos benéficos es coherente con el principio de mantener la salud del suelo a largo plazo y fortalecer la resiliencia del sistema productivo (Altieri y Toledo, 2011). Gómez-Merino y Trejo-Téllez (2015) mencionan que los sistemas hortícolas sostenibles deben priorizar prácticas que promuevan la actividad biológica del suelo, ya que esta es determinante en la disponibilidad de nutrientes y en el equilibrio del sistema agrícola. En este sentido, la utilización de *S. cerevisiae* como parte del Bocashi representa una estrategia biológica complementaria que no solo contribuye al aporte nutrimental, sino también a la estabilidad ecológica del suelo (González-Rodríguez et al., 2023).

En consecuencia, *S. cerevisiae* puede considerarse un subtema relevante dentro del estudio del Bocashi, debido a su participación en los procesos de fermentación y su potencial efecto bioestimulante. Su integración en programas de fertilización orgánica fortalece la

dimensión biológica del suelo y contribuye a sistemas agrícolas más sostenibles (Altieri y Toledo, 2011). **II.5. Bocashi + microorganismos**

En los sistemas de producción orgánica, el Bocashi no solo se considera una fuente de nutrientes, sino también un medio biológico activo que favorece la dinámica microbiana del suelo. Durante su proceso de fermentación se desarrollan comunidades de bacterias y levaduras que participan en la descomposición de la materia orgánica y en la transformación de nutrientes hacia formas más disponibles para las plantas, lo cual se relaciona con mejoras en fertilidad y actividad biológica del suelo (González-Rodríguez et al., 2023; Mendivil-Lugo et al., 2020).

La incorporación de microorganismos benéficos en abonos orgánicos fermentados puede favorecer procesos como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la producción de metabolitos que estimulan el crecimiento radicular. Vessey (2003) describe que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal pueden influir positivamente en la absorción nutrimental y en el vigor de las plantas, lo que respalda el uso de enmiendas orgánicas enriquecidas con microbiota activa. Asimismo, Higa y Parr (1994) explican que los microorganismos efectivos pueden mejorar el equilibrio biológico del suelo y contribuir a sistemas agrícolas más sostenibles (Vessey, 2003; Higa y Parr, 1994).

En el contexto de esta investigación, la combinación de Bocashi con microorganismos representa una estrategia coherente con la agricultura orgánica, ya que no solo aporta nutrientes al cultivo de tomate, sino que también fortalece la actividad biológica del suelo, favoreciendo un sistema productivo más estable (Altieri y Toledo, 2011; González-Rodríguez et al., 2023).

II.6. Variables de calidad del fruto

En el contexto de esta investigación, la combinación de Bocashi con microorganismos representa una estrategia coherente con la agricultura orgánica, ya que no solo aporta nutrientes al cultivo de tomate, sino que también fortalece la actividad biológica del suelo, favoreciendo un sistema productivo más estable (Altieri y Toledo, 2011; González-Rodríguez et al., 2023)

El contenido de sólidos solubles está relacionado con la acumulación de azúcares y compuestos solubles, lo cual influye directamente en el sabor del tomate. La firmeza, por su parte, está asociada con la integridad estructural del fruto y su comportamiento poscosecha. Dorais, Papadopoulos y Gosselin (2001) señalan que el manejo del cultivo y condiciones de producción pueden modificar parámetros de rendimiento y calidad. Además, la concentración de compuestos antioxidantes como el licopeno y otros fenoles ha sido utilizada como indicador de calidad nutricional del tomate (Dorais et al., 2001; Martínez-Valverde et al., 2002).

En sistemas orgánicos, la liberación gradual de nutrientes y la actividad microbiana del suelo pueden influir en estas variables, por lo que su medición permite evaluar de manera integral el efecto del Bocashi y los microorganismos en el cultivo (Mendoza-Pérez et al., 2018).

II.7. Correlaciones entre variables

El análisis de correlaciones entre variables agronómicas y de calidad permite comprender la relación entre crecimiento vegetal, rendimiento y características físicoquímicas del fruto. En experimentos agrícolas, el coeficiente de correlación es una herramienta estadística que permite determinar la fuerza y dirección de la asociación entre dos variables cuantitativas (Steel y Torrie, 1980).

Montgomery (2013) menciona que en diseños experimentales agrícolas es común evaluar la relación entre variables como peso de fruto y diámetro, así como entre sólidos solubles y materia seca, para interpretar de manera más precisa el efecto de los tratamientos. En tomate bajo invernadero, se han aplicado correlaciones de Pearson para variables de rendimiento y calidad como peso del fruto, firmeza, °Brix y pH, lo cual permite entender relaciones entre parámetros de calidad y productividad (Montgomery, 2013; Monge-Pérez y Loría-Coto, 2019).

Por ello, el estudio conjunto de estas variables fortalece la interpretación de resultados en investigaciones relacionadas con Bocashi y microorganismos, permitiendo un enfoque más integral del sistema productivo y facilitando identificar asociaciones útiles para el análisis agronómico (Steel y Torrie, 1980; Monge-Pérez y Loría-Coto, 2019)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1 Área de experimentación

El experimento se realizó en el invernadero del Departamento de Suelos, campus Saltillo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UAAAN, ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila, coordenadas 25°21'13.5"N 101°02'03.5"W. El estudio tuvo una duración de 8 meses, comprendiendo desde el 7 de marzo de 2024 (siembra y germinación en charolas con sustrato comercial) hasta el 14 de octubre de 2024 (finalización de cosechas y muestreos finales). Las temperaturas promedio en el invernadero fueron 20–28 °C, 50–70% de humedad relativa y fotoperiodo natural, regulado por las condiciones ambientales propias de las región durante el periodo experimental.

III.2 Material vegetal

Se utilizó tomate (*Solanum lycopersicum* L) tipo Saladette. Las plántulas se germinaron en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato comercial y se trasplantaron a camas de invernadero a los 66 días después de la siembra.

III.3 Bocashi comercial: origen, caracterización y manejo

Origen y recepción del Bocashi

El Bocashi utilizado en el presente ensayo fue adquirido a través de una empresa proveedora especializada. Esta elección permitió contar con un material de calidad y garantizar la uniformidad en los tratamientos realizados durante el experimento. La recepción del Bocashi se realizó conforme a los procedimientos habituales de control de insumos, verificando la integridad del producto y asegurando que cumpliera con las especificaciones establecidas por el proveedor.

Caracterización del Bocashi recibido

La composición del Bocashi, conforme a la información proporcionada por la empresa proveedora, incluyó los siguientes ingredientes: estiércol bovino, paja o rastrojo seco, cascarilla de arroz, harina de roca, tierra de compost, melaza y agua.

Esta mezcla de componentes proporciona una fuente significativa de materia orgánica y nutrientes esenciales, lo que favorece el desarrollo óptimo de las plantas en condiciones

controladas de invernadero. La combinación de estos ingredientes está diseñada para aportar los elementos necesarios para el crecimiento vegetal y mejorar la calidad del suelo, lo cual resulta fundamental en la producción agrícola bajo sistemas protegidos.

Manejo y almacenamiento

El Bocashi se almacenó en un área cubierta y ventilada, colocado sobre tarimas, lo que evitó el contacto directo con el suelo y la humedad, condiciones que podrían afectar su calidad. Antes de cada aplicación, se homogeneizó el material para asegurar una distribución uniforme de los componentes, y se verificó la integridad del lote, garantizando que el producto mantuviera sus características originales durante todo el periodo experimental.

III.4 Diseño experimental y tratamientos

El ensayo se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con 9 tratamientos y 4 repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de 4 plantas. Dentro de los tratamientos considerados en el experimento se incluyeron Bocashi inoculado con *S. cerevisiae* y un testigo absoluto sin fertilización. Esta diversidad de tratamientos permitió comparar el efecto de diferentes prácticas de manejo en el desarrollo de las plantas bajo condiciones controladas.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el experimento

Tratamiento	Descripción	Dosis y manejo
T1(Testigo)	Suelo agrícola sin aplicación de compost	
T2	Compost bocashi inoculado con <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	45.5gr
T4	Compost bocashi inoculado con <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	91 gr
T6	Compost bocashi inoculado con <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	182gr
T8	Compost bocashi inoculado con <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	273gr

Nota. Elaboración propia con base en el diseño experimental y en las dosis aplicadas de bocashi inoculado con S. cerevisiae.

Cada tratamiento se aplicó en camas de con 4 plantas, con 4 repeticiones, bajo un diseño de bloques completos al azar.

III.6 Aplicación de tratamientos

Incorporación inicial del Bocashi

El bocashi se incorporó por primera vez al sustrato de las camas de cultivo a los 12 días después del trasplante. La dosis correspondiente se distribuyó alrededor del cepellón de cada planta y se mezcló de manera superficial, favoreciendo una integración adecuada del abono orgánico con el suelo.

Aplicaciones periódicas según tratamiento

Para los tratamientos T2 y T4, se realizaron aplicaciones del bocashi cada 15 días. En el caso de los tratamientos T6 y T8, las aplicaciones se efectuaron cada 30 días. El método de aplicación consistió en la incorporación superficial del abono o su colocación en banda junto a la línea de riego, asegurando una distribución adecuada y un contacto cercano con las raíces. El tratamiento T1, que funcionó como testigo absoluto, únicamente recibió manejo agrícola convencional, sin la aplicación de bocashi.

Registro de manejo de aplicaciones

Durante todo el proceso, se registraron de manera puntual las fechas y cantidades de cada aplicación, así como las condiciones climáticas y las labores culturales realizadas. Este registro permitió un seguimiento detallado de las prácticas implementadas y su relación con el desarrollo del cultivo.

Manejo del cultivo

El riego se efectuó por goteo, ajustado a las necesidades hídricas del cultivo. El control fitosanitario se realizó mediante manejo integrado con productos biológicos y prácticas culturales (deshoje, tutorado, monitoreo de plagas y enfermedades).

III.8 Variables evaluadas en el experimento

Las variables consideradas se clasifican en Agronómicas e Índices de calidad.

Las agronómicas fueron, Peso del fruto(fresco) en g. Los índices de calidad fueron: Firmeza en Kg/cm², Grados brix (SST), pH, color del fruto, tamaño

III.8.1 Peso fresco

Con ayuda de una báscula eléctrica con capacidad de hasta 1.00 kg, se pesó cada fruto de cada racimo para obtener este dato

III.8.2 Firmeza

Para obtener esta variable se utilizó un penetrómetro de la marca (QA) con una capacidad de 13 Kg y una puntilla de 8mm. Realizando dos perforaciones opuestas en el fruto.

III.8.3 pH

Se determinó el pH del fruto como indicador de acidez, lo que permite conocer su sabor y estabilidad durante el almacenamiento.

III.8.4 Color del fruto

El color del fruto fue evaluado para identificar la apariencia y el grado de maduración alcanzado en cada tratamiento.

III.8.5 Tamaño

Se registró el tamaño de los frutos como variable de calidad comercial, considerando la preferencia del mercado.

III.8.6 Grados Brix

Los grados Brix fueron medidos para conocer el contenido de azúcares en el fruto, lo que permite evaluar su dulzura y calidad organoléptica.

III.9 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) y comparación de medias mediante la prueba post hoc de Tukey ($p \leq 0.05$).

IV. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados del análisis de varianza de una vía y del modelo lineal general aplicados a cinco tratamientos: testigo (T1) y los tratamientos pares T2, T4, T6 y T8. Se evaluaron seis variables: número de frutos por planta, número de racimos por planta, peso del fruto, diámetro polar, diámetro ecuatorial 1 y diámetro ecuatorial 2. La interpretación de los resultados se fundamenta en los promedios observados, el valor de F, la significancia estadística y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey

Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza para las variables evaluadas

Variable	F	p	Interpretación
Número de frutos por planta	2.484	0.050	Efecto marginal
Número de racimos por planta	0.564	0.690	No significativo
Peso del fruto	1.857	0.126	No significativo
Diámetro polar	77.619	≤ 0.001	Altamente significativo
Diámetro ecuatorial 1	170.526	≤ 0.001	Altamente significativo
Diámetro ecuatorial 2	232.886	≤ 0.001	Altamente significativo

Nota. Valores obtenidos del procesamiento estadístico de SPSS proporcionado por la autora. Los tratamientos evaluados corresponden a T1, T2, T4, T6 y T8.

Cuadro 3. Medias por tratamiento y agrupación de Tukey

Tratamiento	Frutos/planta	Racimos/planta	Peso	DP	De1	De2
-------------	---------------	----------------	------	----	-----	-----

o			(g)	(mm)	(mm)	(mm)
T1 (Testigo)	1.76 a	2.33 a	120.00 a	77.46 a	53.04 a	52.24 ab
T2	2.62 a	2.62 a	111.50 a	41.96 b	18.82 b	18.51 c
T4	2.68 a	2.58 a	123.11 a	73.02 a	50.33 a	49.67 b
T6	2.20 a	2.13 a	129.33 a	78.69 a	54.53 a	53.35 ab
T8	2.57 a	2.36 a	130.71 a	76.25 a	54.20 a	53.95 a

Nota. Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia significativa entre medias según Tukey ($p \leq 0.05$). En frutos/planta, racimos/planta y peso del fruto todas las medias fueron estadísticamente iguales.

IV.1 Número de frutos por planta

El número de frutos por planta mostró un efecto marginal del tratamiento ($F = 2.484$; $p = 0.050$). Aun cuando el valor de significancia se ubicó en el límite del criterio de decisión, la comparación de medias de Tukey no separó estadísticamente a los tratamientos, por lo que todos conformaron un mismo grupo. En términos descriptivos, T4 registró la media más alta (2.68 frutos por planta), seguido por T2 (2.63) y T8 (2.57), mientras que el testigo presentó la media más baja (1.76). Estos valores sugieren una tendencia positiva de algunos tratamientos con bocashi hacia una mayor emisión o retención de frutos, pero la magnitud de la respuesta no fue suficiente para demostrar un efecto concluyente bajo las condiciones del ensayo.

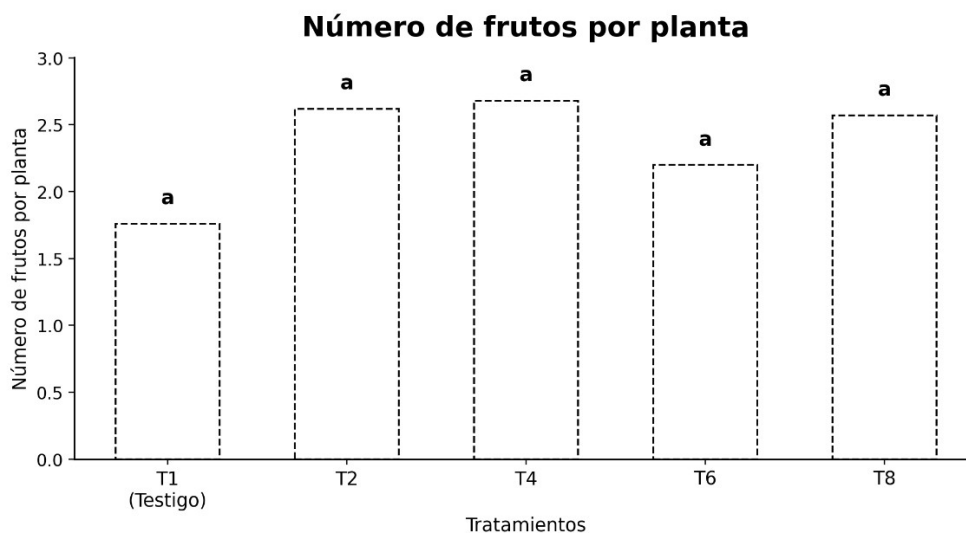


Figura 1. Número de frutos por planta en función del tratamiento.

Efecto de los tratamientos sobre el número de frutos por planta en tomate (Solanum lycopersicum L.). No se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Los valores representan la media \pm error estándar estimado a partir del error residual del ANOVA. Letras distintas indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$).

IV.2 Número de racimos por planta

Para número de racimos por planta no se detectó efecto del tratamiento ($F = 0.564$; $p = 0.690$). Todas las medias fueron estadísticamente semejantes y oscilaron entre 2.13 y 2.63 racimos por planta. Aunque T2 mostró la media más alta (2.63), seguido de T4 (2.58), la variación observada se mantuvo dentro del error experimental. Este comportamiento indica que la fertilización evaluada no modificó de manera consistente la formación de racimos en comparación con el testigo.

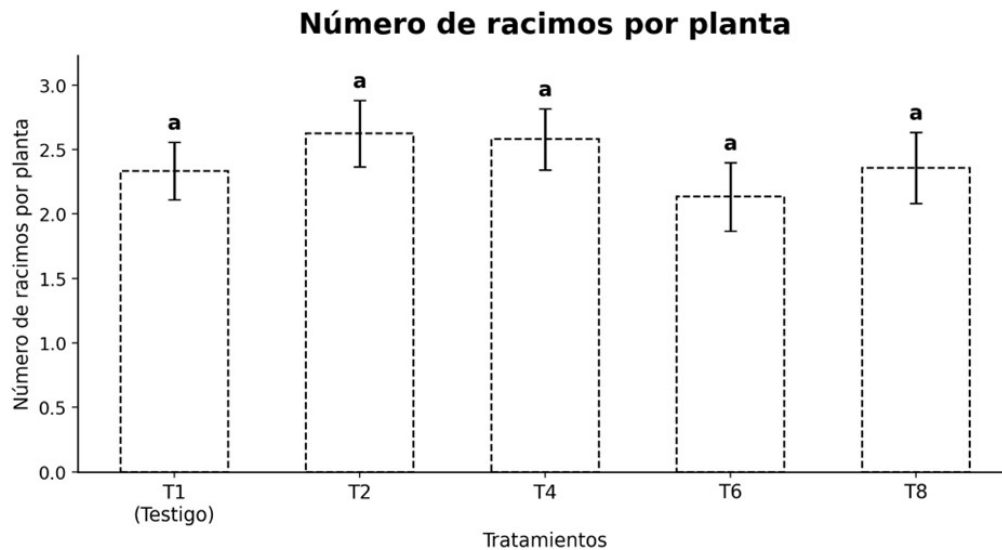


Figura 2. Número de racimos por planta en función del tratamiento.

Efecto de los tratamientos sobre el número de racimos por planta en tomate (Solanum lycopersicum L.). No se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Los valores representan la media \pm error estándar estimado a partir del error residual del ANOVA. Letras distintas indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$).

IV.3 Peso del fruto (g)

El peso del fruto no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($F = 1.857$; $p = 0.126$). No obstante, se observó una tendencia numérica a mayores pesos en T8 (130.71 g) y T6 (129.33 g), mientras que T2 registró la media más baja (111.50 g). Al no existir separación de medias por Tukey, los resultados indican que el bocashi inoculado no cambió de manera estadísticamente comprobable el peso individual del fruto, aunque sí generó una respuesta numérica moderada en algunos tratamientos.

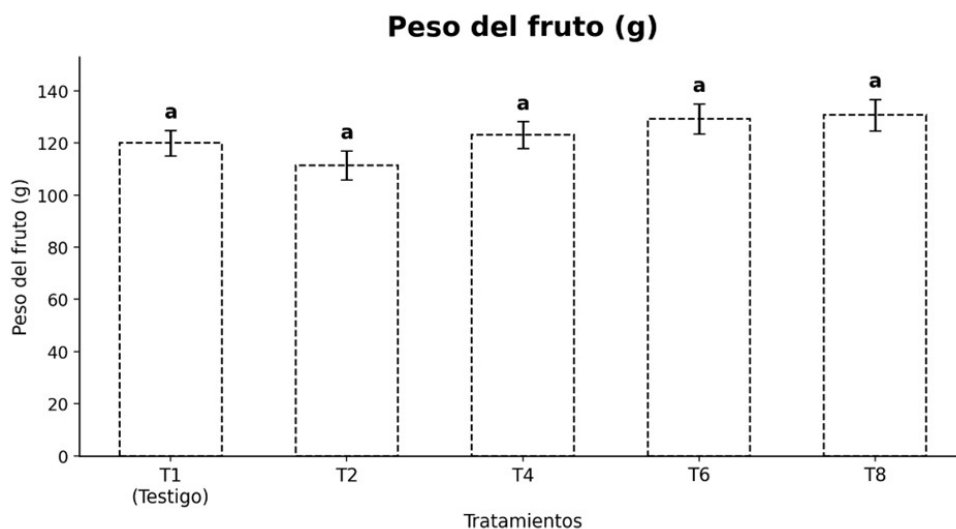


Figura 3. Peso promedio del fruto en función del tratamiento.

*Efecto de los tratamientos sobre el peso del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. Los valores representan la media \pm error estándar estimado a partir del error residual del ANOVA. Letras distintas indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$).*

IV.4 Diámetro polar (mm)

El diámetro polar sí fue afectado de manera altamente significativa por el tratamiento ($F = 77.619$; $p \leq 0.001$). La prueba de Tukey separó con claridad a T2, que presentó la media más baja (41.96 mm), del resto de los tratamientos, los cuales formaron un grupo estadísticamente superior y homogéneo. Los valores más altos se observaron en T6 (78.69 mm) y T1 (77.46 mm), seguidos por T8 (76.25 mm) y T4 (73.02 mm). Este patrón evidencia que el comportamiento de T2 fue atípico y redujo de forma importante el tamaño longitudinal del fruto.

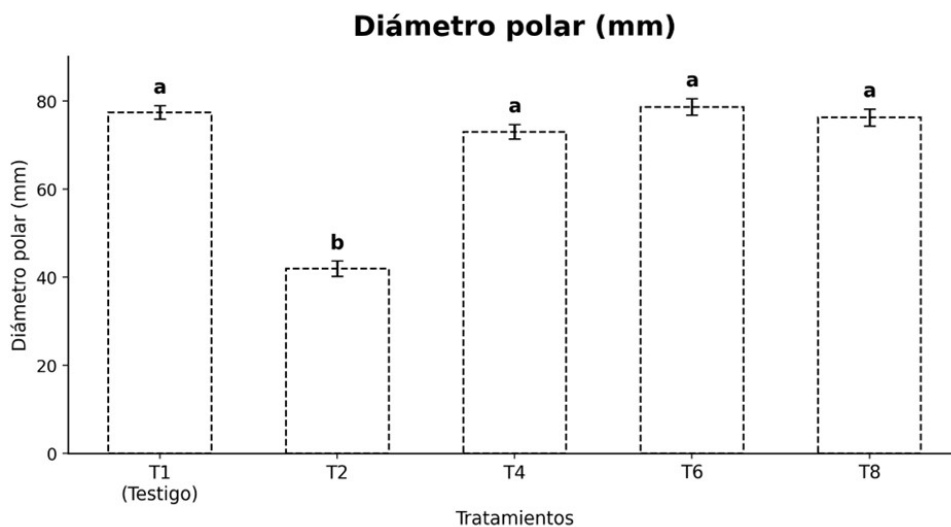


Figura 4. Diámetro polar promedio del fruto en función del tratamiento.

*Efecto de los tratamientos sobre el diámetro polar del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). T2 mostró el valor más bajo, mientras que los demás tratamientos fueron estadísticamente similares. Los valores representan la media \pm error estándar estimado a partir del error residual del ANOVA. Letras distintas indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$).*

IV.5 Diámetro ecuatorial 1 (mm)

El diámetro ecuatorial 1 mostró un comportamiento semejante al del diámetro polar, con diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F = 170.526$; $p \leq 0.001$). T2 presentó nuevamente la media más baja (18.82 mm) y se separó del resto de los tratamientos, los cuales permanecieron en un grupo estadísticamente superior. Los mayores valores se registraron en T6 (54.53 mm), T8 (54.20 mm) y T1 (53.04 mm). La magnitud de la diferencia sugiere que el tratamiento T2 limitó el crecimiento transversal del fruto, mientras que los demás tratamientos mantuvieron valores compatibles con frutos comerciales de mejor calibre.

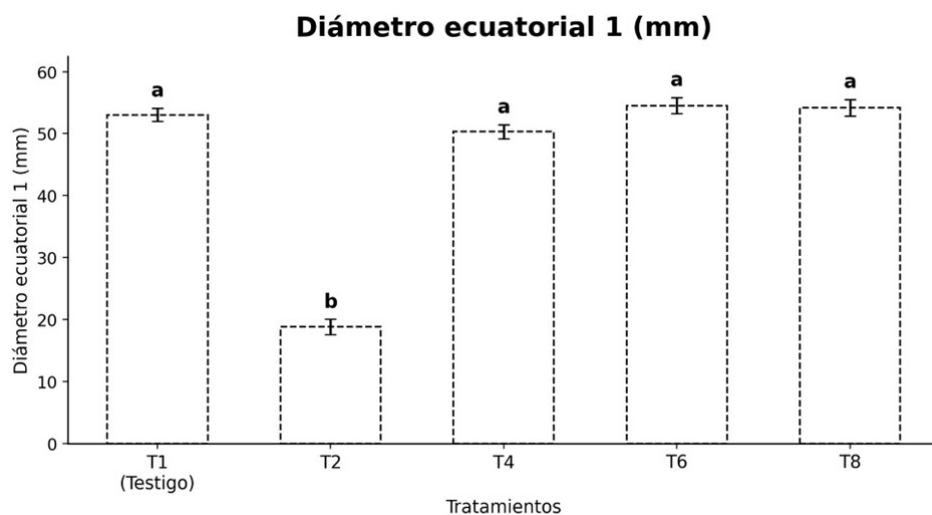


Figura 5. Diámetro ecuatorial 1 promedio del fruto en función del tratamiento.

. Efecto de los tratamientos sobre el diámetro ecuatorial 1 del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). T2 presentó el valor más bajo y difirió del resto de los tratamientos. Los valores representan la media \pm error estándar estimado a partir del error residual del ANOVA. Letras distintas indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$).

IV.6 Diámetro ecuatorial 2 (mm)

El diámetro ecuatorial 2 fue la variable con la mayor sensibilidad al tratamiento ($F = 232.886$; $p \leq 0.001$). La comparación de medias de Tukey formó tres niveles de respuesta: T2 ocupó el grupo más bajo (18.51 mm), T4 se ubicó en una posición intermedia (49.67 mm) y T8 presentó la media más alta (53.95 mm); T1 y T6 compartieron grupos intermedios superiores. En conjunto, este resultado confirma que el efecto del tratamiento fue más evidente en las variables de tamaño del fruto que en las variables de producción por planta.

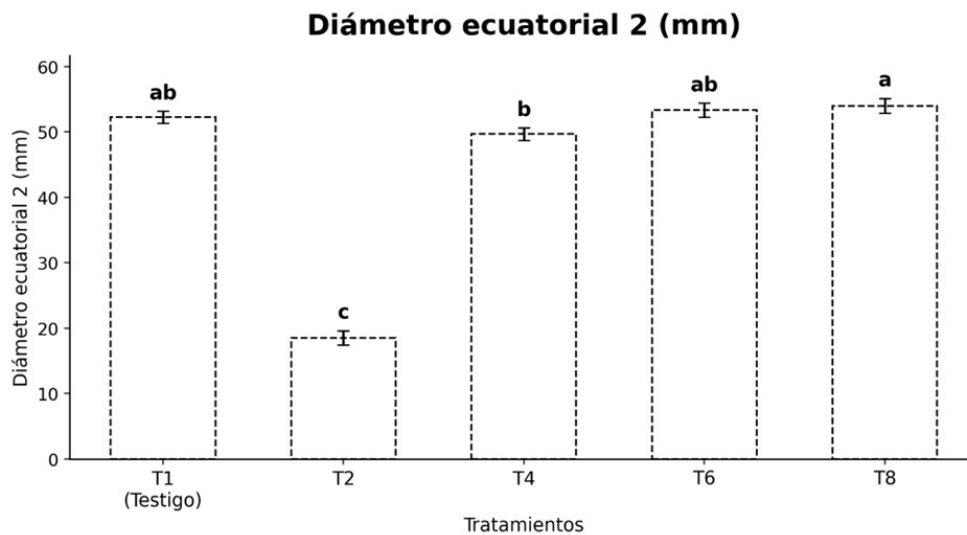


Figura 6. Diámetro ecuatorial 2 promedio del fruto en función del tratamiento.

*Efecto de los tratamientos sobre el diámetro ecuatorial 2 del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Se observaron diferencias entre tratamientos, destacando T2 con el menor valor y T8 con el mayor. Los valores representan la media \pm error estándar estimado a partir del error residual del ANOVA. Letras distintas indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$).*

V. DISCUSIÓN

El patrón general observado permite diferenciar dos grupos de variables. El primero incluye número de frutos por planta, número de racimos y peso del fruto, en los que no se detectaron cambios estadísticos atribuibles al tratamiento. El segundo incluye las variables de tamaño del fruto —diámetro polar, diámetro ecuatorial 1 y diámetro ecuatorial 2— que sí respondieron de manera clara. Además, el modelo lineal general mostró que ni la repetición ni la interacción tratamiento \times repetición fueron significativas para las variables evaluadas, lo que respalda que el comportamiento observado se debió principalmente al efecto del tratamiento y no a una distribución irregular entre repeticiones.

V.1 Producción por planta y estabilidad del rendimiento

La ausencia de diferencias significativas en frutos por planta, racimos por planta y peso del fruto sugiere que, bajo las condiciones de este ensayo, la aplicación de bocashi inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* no modificó de forma consistente el componente productivo inmediato. Este tipo de respuesta ha sido documentado en estudios de tomate bajo invernadero donde las fuentes orgánicas pueden mantener valores de rendimiento y calidad cercanos al testigo o a la fertilización convencional sin necesariamente producir incrementos estadísticos en todas las variables. Rodríguez-Dimas et al. (2009) reportaron que mezclas orgánicas basadas en compost y té de compost pueden sostener rendimiento y calidad de fruto en tomate bajo invernadero, aun cuando algunas variables individuales no cambian respecto al tratamiento de referencia. De forma semejante, de la Cruz-Lázaro et al. (2009) observaron que el uso de compost y vermicompost como sustrato permite mantener una producción aceptable en invernadero, pero la respuesta depende del tipo de mezcla y del equilibrio nutrimental alcanzado.

Desde el punto de vista agronómico, esto indica que una fuente orgánica inoculada puede integrarse al manejo del cultivo sin provocar reducciones significativas en variables de rendimiento comercial, aunque tampoco garantiza incrementos directos cuando las condiciones de fertilidad base o el ambiente ya son favorables. En este estudio, los tratamientos T6 y T8 tendieron a registrar frutos más pesados que el testigo, pero esa ventaja

no se consolidó estadísticamente. Por ello, el resultado debe interpretarse como una tendencia agronómica y no como una superioridad concluyente.

V.2 Respuesta del tamaño del fruto

Las variables de tamaño fueron las más sensibles al efecto del tratamiento, particularmente por el comportamiento contrastante de T2. Tanto el diámetro polar como los dos diámetros ecuatoriales evidenciaron una reducción marcada en ese tratamiento, mientras que T1, T4, T6 y T8 conservaron valores superiores y, en la mayoría de los casos, estadísticamente semejantes entre sí. Esta respuesta coincide con la literatura que indica que la fertilización orgánica puede influir sobre el calibre del fruto al modificar la disponibilidad gradual de nutrimentos, la actividad microbiana y las condiciones físicas del suelo o sustrato. Estrada-Arellano et al. (2022) documentaron que la fertilización orgánica puede afectar de manera significativa el diámetro ecuatorial, el peso fresco y el rendimiento del tomate, especialmente cuando la dosis favorece una mejor condición química del suelo. Asimismo, Salas-Pérez et al. (2016) reportaron que los frutos producidos en sustratos orgánicos pueden mantener calidad biofísica aceptable, incluyendo variables de tamaño y sólidos solubles, aun cuando el mejor rendimiento se obtenga con nutrición convencional.

En el presente estudio, la caída de los diámetros en T2 sugiere que la dosis o la frecuencia asociada a ese tratamiento no fue suficiente para sostener el llenado del fruto, o bien que generó una condición menos favorable para el crecimiento transversal y longitudinal. En contraste, T6 y T8 mantuvieron los valores más altos en diámetro polar y ecuatorial, lo que sugiere una respuesta más estable del fruto cuando el aporte orgánico fue mayor. Desde la perspectiva comercial, esta evidencia es relevante porque el tamaño del fruto es una variable directamente asociada con la clasificación y el valor de mercado

V.3 Implicaciones del uso de bocashi inoculado

El comportamiento observado permite plantear que el bocashi inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* actuó más sobre la expresión física del fruto que sobre la cantidad de estructuras reproductivas. Esto es congruente con el papel que se atribuye a las enmiendas orgánicas fermentadas: más que inducir aumentos abruptos en rendimiento, suelen mejorar gradualmente el ambiente radicular, la mineralización de nutrimentos y la disponibilidad de

compuestos útiles para el cultivo. En revisiones recientes, el bokashi se describe como un insumo de interés en sistemas agroecológicos por su aporte de materia orgánica y su vínculo con la actividad microbiana del suelo. Aunque la evidencia no siempre muestra incrementos uniformes en todas las variables, sí señala potencial para sostener producción y calidad bajo esquemas más sostenibles.

En términos de interpretación estadística, el hecho de que las variables de tamaño presentaran valores de R^2 de 0.830, 0.907 y 0.929 en el modelo general indica que gran parte de la variación observada fue explicada por el tratamiento. Esto fortalece la conclusión de que el efecto fue real y concentrado en el calibre del fruto. En cambio, los bajos R^2 ajustados para racimos y peso del fruto muestran que esas variables dependieron de otros factores no controlados por el tratamiento, como la variación fisiológica normal de la planta, el momento de cosecha o diferencias microambientales propias del invernadero.

V.4 Síntesis interpretativa

En conjunto, los resultados muestran que los tratamientos pares evaluados no incrementaron de manera concluyente la producción por planta, pero sí modificaron el tamaño del fruto. Desde una perspectiva aplicada, esto significa que la respuesta al bokashi inoculado debe analizarse no solo por número de frutos o peso individual, sino también por el calibre alcanzado. Para una tesis de licenciatura orientada a la evaluación biológica del fertilizante, este hallazgo es valioso porque demuestra que el efecto del tratamiento fue selectivo: conservó estabilidad en variables productivas básicas y produjo cambios claros en dimensiones del fruto, especialmente al comparar T2 con T6 y T8.

Por ello, la interpretación más sólida no es afirmar que el bokashi inoculado incrementó todo el rendimiento, sino que su efecto se concentró en atributos físicos específicos del fruto. Este enfoque resulta más preciso, más defendible estadísticamente y más consistente con la información experimental disponible.

VI. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió evaluar el efecto biológico de la aplicación al suelo de fertilizante tipo bocashi inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) bajo condiciones de invernadero, con énfasis en variables de calidad física y química del fruto. A partir de los resultados obtenidos, se concluye que la respuesta del cultivo al tratamiento evaluado fue diferenciada, ya que no todas las variables presentaron el mismo comportamiento frente a la fertilización orgánica aplicada. Esto confirma que la calidad del fruto en tomate no depende de un solo factor, sino de la interacción entre la nutrición, las condiciones ambientales, el manejo agronómico, la actividad biológica del suelo y la fisiología propia de la planta.

Con base en el análisis de varianza (ANOVA), la hipótesis planteada se cumplió de manera parcial, debido a que la aplicación al suelo de bocashi inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* no mejoró significativamente todas las variables de calidad del fruto consideradas en el estudio; sin embargo, sí mostró una respuesta favorable en variables físicas relacionadas con el tamaño del fruto. En particular, los resultados evidenciaron diferencias estadísticas más claras en el diámetro polar y en los diámetros ecuatoriales, lo que indica que el tratamiento influyó positivamente en el desarrollo morfológico del tomate. Estos resultados permiten interpretar que el fertilizante orgánico favoreció procesos asociados con la expansión y crecimiento del fruto, generando una respuesta importante en atributos físicos de interés comercial. Por otra parte, variables como el número de racimos por planta, el número de frutos por planta y el peso del fruto no mostraron diferencias estadísticas concluyentes entre tratamientos, lo que sugiere que estos componentes productivos no dependieron exclusivamente de la aplicación del bocashi inoculado, sino también de otros factores relacionados con el ambiente de invernadero, la genética del cultivo, la disponibilidad nutrimental y el estado fisiológico de las plantas. Asimismo, en las variables de calidad interna del fruto, como firmeza, pH, acidez titulable y sólidos solubles totales (°Brix), no se observaron diferencias significativas, por lo que no puede afirmarse que el fertilizante evaluado haya modificado de manera integral la composición interna del tomate bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento.

No obstante, la ausencia de significancia en algunas variables no disminuye la importancia agronómica de los resultados obtenidos. Por el contrario, esta investigación demuestra que el bocashi inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* constituye una alternativa orgánica con potencial técnico para ser incorporada en programas de fertilización en tomate bajo invernadero, especialmente cuando se busca favorecer atributos físicos del fruto y, al mismo tiempo, avanzar hacia sistemas de producción más sostenibles. Su valor no debe interpretarse únicamente por su efecto inmediato sobre determinadas variables del fruto, sino también por su posible contribución al mejoramiento biológico del suelo, al fortalecimiento de la actividad microbiana y a la reducción paulatina de la dependencia de insumos de síntesis química.

En términos generales, los resultados de esta tesis permiten establecer que el fertilizante tipo bocashi inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* tuvo un efecto selectivo, dirigido principalmente hacia características físicas del fruto, más que hacia variables químicas o internas de calidad. Este hallazgo resulta relevante, ya que en la producción de tomate bajo agricultura protegida la calidad física, el tamaño y la uniformidad del fruto representan criterios fundamentales para su valor comercial. Por ello, aunque la respuesta observada no fue generalizada en todas las variables contempladas en la hipótesis, sí fue suficiente para demostrar que el tratamiento tiene potencial dentro de esquemas de fertilización orgánica enfocados en mejorar ciertos atributos del tomate.

Finalmente, esta investigación aporta evidencia experimental útil sobre el uso de insumos orgánicos inoculados en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y confirma la importancia de continuar estudiando este tipo de alternativas dentro de sistemas de producción hortícola más sustentables. Se concluye que el bocashi inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* posee viabilidad agronómica y experimental, aunque sus efectos deben seguir analizándose en función de la dosis, frecuencia de aplicación, etapa fenológica del cultivo y condiciones del suelo, con el fin de definir con mayor precisión su alcance sobre la calidad del fruto y su contribución al desarrollo de una agricultura protegida más eficiente, sustentable y biológicamente equilibrada.

VII. RECOMENDACIONES

VI.1 Recomendaciones técnicas

Se recomienda emplear el bocashi inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* como parte de una estrategia integral de fertilización orgánica orientada a mejorar la fertilidad del suelo, estimular la actividad biológica de la rizósfera y favorecer el desarrollo del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. Su uso puede resultar particularmente útil en sistemas de producción donde se busca avanzar hacia un manejo más sustentable y con menor dependencia de fertilizantes sintéticos.

Se recomienda que su aplicación no sea considerada como una práctica aislada, sino como un componente complementario dentro de un manejo agronómico integral que incluya riego adecuado, seguimiento nutrimental, control fitosanitario y monitoreo del ambiente del invernadero. La respuesta del tomate depende de la interacción entre múltiples factores, y por ello el efecto del bocashi puede potenciarse cuando forma parte de un sistema de manejo equilibrado.

También se recomienda ajustar con mayor precisión la dosis y la frecuencia de aplicación del bocashi inoculado, ya que la respuesta observada en esta investigación sugiere que no todas las variables reaccionan de la misma manera. La optimización de estos factores podría mejorar la consistencia de la respuesta del cultivo, especialmente en variables de rendimiento y calidad del fruto.

Se recomienda acompañar el uso del bocashi con análisis de suelo y, en la medida de lo posible, análisis foliares, con el fin de diagnosticar con mayor exactitud la disponibilidad de nutrientes y la respuesta nutrimental de la planta. Esta práctica permitiría fortalecer el manejo técnico del cultivo y aumentar la eficiencia del uso del fertilizante orgánico.

Asimismo, se recomienda valorar el bocashi no solo por su efecto inmediato sobre el cultivo, sino por su contribución a la conservación de la fertilidad del suelo a mediano plazo. En sistemas de producción intensiva bajo invernadero, la incorporación de materia orgánica

fermentada puede representar una práctica estratégica para mantener la salud del suelo y sostener la productividad en el tiempo.

II 6.2 Recomendaciones metodológicas y de investigación

Se recomienda repetir el estudio en más de un ciclo agrícola para validar la estabilidad de la respuesta observada, ya que las condiciones ambientales del invernadero y la dinámica del suelo pueden variar entre temporadas. Esto permitiría fortalecer la confiabilidad de las conclusiones y definir con mayor precisión el comportamiento del fertilizante en diferentes contextos productivos.

Se recomienda ampliar el rango de dosis y esquemas de aplicación del bocashi inoculado, incluyendo tratamientos intermedios o combinaciones con otras fuentes de nutrición orgánica. Esto ayudaría a identificar el nivel óptimo de aplicación y permitiría establecer si la respuesta del cultivo sigue un patrón lineal o si existe un umbral a partir del cual el efecto se estabiliza.

También se recomienda incorporar variables biológicas del suelo en futuros estudios, tales como respiración microbiana, biomasa microbiana, actividad enzimática o abundancia de microorganismos benéficos. Esto permitiría comprender mejor el mecanismo de acción del bocashi inoculado y vincular la respuesta del cultivo con cambios concretos en la dinámica biológica del suelo.

Se recomienda estandarizar rigurosamente el grado de madurez de los frutos al momento del muestreo para variables como firmeza, °Brix, acidez y pH. Estas variables son sensibles al estado fisiológico del fruto, por lo que una mayor uniformidad en el muestreo mejoraría la precisión del análisis estadístico y de la interpretación agronómica.

Asimismo, se recomienda incluir variables complementarias de calidad, tales como vitamina C, licopeno, materia seca, color instrumental, vida de anaquel y evaluación sensorial. La integración de estos parámetros permitiría una evaluación más completa del efecto del fertilizante sobre la calidad comercial, nutricional y funcional del fruto.

Desde una perspectiva aplicada, se recomienda desarrollar análisis económicos del uso de bocashi inoculado, considerando costos de elaboración o adquisición, mano de obra,

frecuencia de aplicación y beneficio productivo. Esto permitiría traducir los resultados agronómicos a criterios de viabilidad real para productores y técnicos.

Finalmente, se recomienda comparar de manera directa el bocashi inoculado con esquemas de fertilización química convencional y con programas mixtos orgánico-minerales. Esta comparación permitiría definir con mayor precisión el papel del fertilizante orgánico dentro de sistemas de producción comerciales de tomate bajo invernadero.

VIII. LITERATURA CITADA

Altieri, M. A., y Toledo, V. M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587–612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>

Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., García-Hernández, J. L., y Orozco-Vidal, J. A. (2009). Fertilización orgánica en la producción de tomate bajo condiciones de invernadero. *Terra Latinoamericana*, 27(3), 203–210.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018773802015000400001

Gómez-Merino, F. C., y Trejo-Téllez, L. I. (2015). Nutrición mineral de cultivos hortícolas en sistemas protegidos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 321–330. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018773802015000400001

SAGARPA. (2017). Planeación agrícola nacional 2017–2030: Tomate rojo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/agricultura/documentos/planeacion-agricola-nacional-2017-2030>

González-Rodríguez, G., Preciado-Rangel, P., Lizárraga-Bernal, C. G., y Espinosa-Palomeque, B. (2023). Análisis bibliométrico de la literatura científica sobre el abono orgánico Bokashi: alternativa en agricultura sostenible. *Biotecnia*, 25(2), 181–193. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/1848/893>

López-Tolentino, G., Muñoz-Osorio, G. A., Marín-Colli, E. E., Castillo-López, E., Canul-Tun, C. E., y Alonso-Zuñiga, E. (2023). Fertilización con bokashi sobre el crecimiento y rendimiento de tomate bola (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 27(1), 166–174.

<https://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/agropecuaria/article/view/1588>

Mendivil-Lugo, C., Nava-Pérez, E., Armenta-Bojórquez, A. D., Ruelas-Ayala, R. D., y Félix-Herrán, J. A. (2020). Elaboración de un abono orgánico tipo bocashi y su evaluación en la germinación y crecimiento del rábano. *Biotecnia*, 22(1), 17–23. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/1120>

- Hernández-Fernández, M., et al. (2021). Culturable yeasts as biofertilizers and biopesticides for sustainable agricultural practices. *Microorganisms*, 9(5), 1–17. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8142971/>
- Dorais, M., Papadopoulos, A. P., y Gosselin, A. (2001). Influence of environmental factors and agricultural practices on tomato fruit quality. *HortScience*, 36(7), 121–129. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/36/7/article-p121.xhtml>
- Higa, T., y Parr, J. F. (1994). Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. International Nature Farming Research Center. <https://www.emrojapan.com/em/beneficial-effective-microorganisms.pdf>
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., Provan, G., y Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 323–330. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1035>
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and analysis of experiments* (8th ed.). Wiley. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118146927>
- Steel, R. G. D., y Torrie, J. H. (1980). *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach* (2nd ed.). McGraw-Hill. <https://archive.org/details/principlesproced0000stee>
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571–586. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026037216893>
- de la Cruz-Lázaro, E., Estrada-Botello, M. A., Robledo-Torres, V., Osorio-Osorio, R., Márquez-Hernández, C., & Sánchez-Hernández, R. (2009). Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia*, 25(1), 59-67. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792009000100004&script=sci_arttext

Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2001). Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Reviews*, 26, 239-319. <https://doi.org/10.1002/9780470650806.ch5>

Estrada-Arellano, E., Murillo-Amador, B., Cervantes-Vázquez, T. J. A., Vázquez-Vázquez, C., et al. (2022). Fertilización orgánica para mejorar calidad nutracéutica de híbridos de tomate y su efecto en las propiedades químicas del suelo. *Terra Latinoamericana*, 40, e1613. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1613>

Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Favela-Chávez, E., Moreno-Reséndez, A., Márquez-Hernández, C., Ochoa-Martínez, E., & Preciado-Rangel, P. (2009). Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 319-327. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792009000400006&script=sci_arttext

Salas-Pérez, L., González-Fuentes, J. A., García-Carrillo, M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terrazas, S., & Preciado-Rangel, P. (2016). Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova Scientia*, 8(17), 310-325. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052016000200310&script=sci_arttext

Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2001). *Greenhouse tomato fruit quality*. En J. Janick (Ed.), *Horticultural Reviews* (Vol. 26, pp. 239–319). Wiley. Link: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470650806.ch5>

Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., Provan, G., & Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(3), 323–330. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1035>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). Manual práctico para la elaboración de bocashi. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737323/8_Elaboracion_de_Bocashi.pdf

Aguiñaga-Bravo, A., Sánchez-Chávez, E., Ruiz-Espinoza, F. H., Yáñez-Muñoz, R. M., García-Cué, J. L., & Preciado-Rangel, P. (2020). Efecto de abonos orgánicos sobre el rendimiento, valor nutritivo y capacidad antioxidante de tomate verde (*Physalis ixocarpa*).

Acta Universitaria, 30, e2475.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662020000100116&script=sci_arttext

González-Rodríguez, G., et al. (2023). Análisis bibliométrico de la literatura científica sobre el bokashi. Biotecnia, 25(2), 181–190.

Link: <https://www.scielo.org.mx/pdf/biotecnia/v25n2/1665-1456-biotecnia-25-02-181.pdf>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Manual de manejo agroecológico de la fertilidad, plagas y enfermedades en cultivos.

<https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/manuales/ecoagua/ecoagua-manual-agroecologico.pdf>

IX. ANEXO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Preparación del sustrato y llenado de charolas para la siembra de semillas de tomate utilizadas en el experimento



Fotografía 2. Preparación de camas de cultivo y sistema de riego por goteo dentro del invernadero antes del trasplante.



Fotografía 3. Plántulas de tomate listas para trasplante utilizadas para el establecimiento del experimento.



Fotografía 4. Establecimiento de tratamientos experimentales en el cultivo de tomate mediante señalización en campo.



Fotografía 5. Desarrollo vegetativo inicial de las plantas de tomate durante el crecimiento del cultivo.



Fotografía 6. Manejo del cultivo mediante tutoreo para favorecer el crecimiento vertical de las plantas.



Fotografía 7. Aplicación de fertilizante orgánico tipo bocashi al suelo durante el manejo del cultivo.



Fotografía 8. Realización de poda o deschuponado para regular el crecimiento y mejorar el desarrollo del cultivo.



Fotografía 9. Cosecha de frutos de tomate para la evaluación de variables de calidad.



*Fotografía 10. Etapa de floración del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y establecimiento del sistema de tutoreo mediante hilo para la conducción y soporte de las plantas en invernadero*



*Fotografía 11. Recolección de frutos y determinación del peso fresco en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como parte de la evaluación de variables físicas del fruto.*



*Fotografía 12. Frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en diferentes etapas de maduración y tamaño, utilizados para la evaluación de variables físicas y de calidad del fruto en los tratamientos establecidos.*