UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD PIETRO DEL TOMATE DE RIÑÓN (*Solanum lycopersicum* L.) CON DOS SISTEMAS DE SIEMBRA CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO Y DIFERENTES DOSIS DE EVERGREEN"

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo

Autor:

Caiza Chango Luis Daniel

Tutor:

Jácome Mogro Emerson Javier

LATACUNGA - ECUADOR

Agosto-2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Caiza Chango Luis Daniel, con cédula de ciudadanía No. 1725350134, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD PIETRO DEL TOMATE DE RIÑÓN (*Solanum lycopersicum* L.) CON DOS SISTEMAS DE SIEMBRA CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO Y DIFERENTES DOSIS DE EVERGREEN",** siendo el Ingeniero Ph.D. Emerson Javier Jàcome Mogro, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 3 de agosto del 2026

Luis Daniel Caiza Chango
C.C: 1725350134
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CAIZA CHANGO LUIS DANIEL**, identificado con cédula de ciudadanía **1725350134** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará El **CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD PIETRO DEL TOMATE DE RIÑÓN (S*olanum lycopersicum* L.) CON DOS SISTEMAS DE SIEMBRA CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO Y DIFERENTES DOSIS DE EVERGREEN"**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Tutor: Ing. Emerson Javier Jácome Mogro, Ph.D.

Tema**: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD PIETRO DEL TOMATE DE RIÑÓN (S*olanum lycopersicum* L.) CON DOS SISTEMAS DE SIEMBRA CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO Y DIFERENTES DOSIS DE EVERGREEN"**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

a. La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
b. La publicación del trabajo de grado.
c. La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
d. La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
e. Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 3 días del mes de agosto del 2026.

Luis Daniel Caiza Chango	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
EL CEDENTE	**LA CESIONARIA**

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD PIETRO DEL TOMATE DE RIÑÓN (S*olanum lycopersicum* L.) CON DOS SISTEMAS DE SIEMBRA CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO Y DIFERENTES DOSIS DE EVERGREEN.", de Caiza Chango Luis Daniel, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 3 de agosto del 2026

Ing. Emerson Javier Jácome Mogro, Ph.D.
DOCENTE TUTOR
CC: 0501974703

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Caiza Chango Luis Daniel con el título de Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD PIETRO DEL TOMATE DE RIÑÓN (*Solanum lycopersicum* L.) CON DOS SISTEMAS DE SIEMBRA CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO Y DIFERENTES DOSIS DE EVERGREEN.",** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 3 de agosto de 2026

Dr. Carlos Javier Torres Miño, Ph.D.
C.C: 0502329238
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Jorge Fabián Troya Sarzosa, Ph.D.
C.C: 0501645568
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Cristian Santiago Jiménez Jàcome, Mg.
C.C: 0501946263
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza necesaria para culminar esta etapa de mi formación profesional.
A mis padres Luis y Sandra, por ser el pilar fundamental de mi vida. Gracias por su amor incondicional, por sus consejos, por el esfuerzo y sacrificio que hicieron para que yo pudiera estudiar. Ustedes fueron mi mayor motivación para seguir adelante y cumplir el sueño de ser ingeniero. Este logro es tanto de ustedes como mío.
A mis hermanos Liseth y Paul, gracias por estar siempre conmigo, por sus palabras de aliento y por motivarme a no rendirme. Su apoyo y compañía hicieron este camino más llevadero.
A mi esposa Gissela, mi compañera de vida. Gracias por tu amor, tu paciencia y por acompañarme día a día en cada desvelo, en cada trabajo y en cada prueba. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Sin tu ayuda y tu respaldo esto no hubiera sido posible.
Expreso mi gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a todos los docentes que formaron parte de mi formación académica, por brindarme los conocimientos y las herramientas necesarias para ser un buen profesional.
De manera especial a mi Ing. Tutor Emerson Jácome, por su guía, su paciencia, sus enseñanzas y por acompañarme en el desarrollo de esta tesis sobre el cultivo de tomate. Gracias por su tiempo y dedicación.
Finalmente, agradezco a las personas que fueron mis jefes, quienes con mucha comprensión me brindaron su apoyo y me dieron facilidades en el trabajo para poder estudiar. Gracias por su empatía y por confiar en mí.
A todas las personas que de una u otra forma estuvieron presentes en este proceso, les dedico este logro con todo mi corazón. ¡Muchísimas gracias!

Luis Daniel Caiza Chango

DEDICATORIA

Con todo mi amor dedico este trabajo: A mi hijo Maverick, mi luz. Llegaste hace 6 meses a cambiarme la vida. Eres mi fuerza, mi motivo y mi mayor orgullo. Todo lo que hago es y será por ti y para ti.
A la memoria de mi hermanito Alexander Paúl. Mi ángel aunque te nos adelantaste hace 6 meses, tu risa y tu recuerdo siguen vivos en mí. Desde el cielo me cuidas y me das fuerza. Sé que desde el cielo estás orgulloso de mí. Este logro también es tuyo, ñaño.
.A mis padres Luis y Sandra, por su amor infinito, por enseñarme con el ejemplo y por ser mi refugio siempre.
A mi hermana, gracias por tu cariño, por tus consejos y por estar presente en cada paso.
A mi esposa Gissela, mi compañera de vida. Gracias por tu paciencia, tu apoyo y por caminar a mi lado en los momentos buenos y en los más difíciles.
Y a mí círculo familiar, por ser mi base, mi unión y el motor que me impulsa a seguir adelante.
Los llevo a todos en el corazón. Este logro es de ustedes

Luis Daniel Caiza Chango

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: «EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD PIETRO DEL TOMATE DE RIÑÓN (*Solanum lycopersicum* L.) CON DOS SISTEMAS DE SIEMBRA CON ACOLCHADO Y SIN ACOLCHADO Y DIFERENTES DOSIS DE EVERGREEN»

Autor:

Caiza Chango Luis Daniel

RESUMEN

El tomate de riñón (*Solanum lycopersicum* L.) es una hortaliza de importancia productiva en la Sierra ecuatoriana. El objetivo de la investigación fue evaluar el comportamiento agronómico de la variedad Pietro bajo dos sistemas de siembra, con acolchado y sin acolchado, y cuatro niveles del bioestimulante Evergreen: 0, 2, 4 y 6 mL. El ensayo se desarrolló en condiciones de invernadero de la Universidad Técnica de Cotopaxi mediante un diseño de parcelas divididas, con tres repeticiones y ocho combinaciones de tratamiento. Durante el ciclo se registraron la altura de planta, el diámetro del tallo, el número de flores y frutos; en la cosecha se evaluaron el peso total de los frutos y su circunferencia ecuatorial promedio. Los datos se procesaron en InfoStat mediante análisis de varianza y la prueba de Tukey cuando se detectaron diferencias significativas. A los 8 días después del trasplante se detectó una interacción significativa entre el sistema de siembra y Evergreen ($p = 0,0063$). La combinación con acolchado y 4 mL alcanzó la mayor altura, con 26,22 cm, mientras que el menor valor se registró sin acolchado y con 2 mL, con 12,44 cm. Esta diferencia se limitó a la etapa inicial y no permaneció durante el resto del ciclo. En la evaluación estadística de la cosecha, las unidades con acolchado presentaron una media de 648,58 g por repetición, frente a 299,94 g en el sistema sin cobertura ($p = 0,039$). La mayor media numérica correspondió al tratamiento con acolchado y 0 mL, con 766,67 g, y la menor al sistema sin acolchado y 4 mL, con 204,44 g; sin embargo, la interacción no fue significativa para esta variable. En las cinco fechas de cosecha documentadas se registraron 468 frutos, con un peso acumulado de 45,068 kg en los 140,4 m² ocupados por las camas. Este valor representó una producción de 0,321 kg/m² y un rendimiento general estimado de 3,21 t/ha para el periodo registrado. La circunferencia ecuatorial también dependió de la combinación de los factores ($p = 0,0088$): con acolchado y 2 mL alcanzó 21,99 cm, mientras que la misma dosis sin cobertura registró 15,55 cm. Los resultados muestran que el acolchado favoreció el establecimiento inicial y presentó la respuesta productiva más definida. Evergreen produjo efectos puntuales, pero ninguna dosis mantuvo un comportamiento superior en todas las variables y sistemas evaluados.

Palabras clave: tomate de riñón, acolchado, bioestimulante, parcelas divididas, rendimiento.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: «AGRONOMIC PERFORMANCE EVALUATION OF THE PIETRO VARIETY OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) UNDER TWO PLANTING SYSTEMS WITH AND WITHOUT MULCH AND DIFFERENT EVERGREEN DOSES»

Author:

Caiza Chango Luis Daniel

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is an important vegetable crop in the Ecuadorian highlands. The objective of this study was to evaluate the agronomic performance of the Pietro variety under two planting systems, with and without mulch, and four Evergreen biostimulant levels: 0, 2, 4, and 6 mL. The trial was conducted under greenhouse conditions at the Technical University of Cotopaxi using a split-plot design with three replications and eight treatment combinations. Plant height, stem diameter, and the number of flowers and fruits were recorded during the crop cycle; total fruit weight and average equatorial fruit circumference were evaluated at harvest. Data were processed in InfoStat using analysis of variance and Tukey's test when significant differences were detected. At 8 days after transplanting, a significant interaction was detected between the planting system and Evergreen ($p = 0.0063$). The combination of mulch and 4 mL produced the greatest plant height, at 26.22 cm, whereas the lowest value was recorded without mulch and with 2 mL, at 12.44 cm. This difference was restricted to early establishment and did not persist throughout the remaining crop cycle. In the statistical assessment of harvest weight, mulched experimental units reached a mean of 648.58 g per replication, compared with 299.94 g without mulch ($p = 0.039$). The highest numerical mean corresponded to mulch with 0 mL, at 766.67 g, and the lowest to no mulch with 4 mL, at 204.44 g; however, the interaction was not significant for this variable. Across the five documented harvest dates, 468 fruits were recorded, with a cumulative weight of 45.068 kg from 140.4 m^2 of experimental beds. This production represented 0.321 kg/m^2 and an estimated overall yield of 3.21 t/ha for the recorded period. Equatorial fruit circumference also depended on the combination of factors ($p = 0.0088$): mulch with 2 mL reached 21.99 cm, whereas the same dose without mulch recorded 15.55 cm. The results indicate that mulching favored early establishment and produced the clearest productive response. Evergreen generated occasional effects, but no dose maintained superior performance across all variables and planting systems.

Keywords: tomato, mulch, biostimulant, split-plot design, yield.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN vi
AGRADECIMIENTO vii
DEDICATORIA viii
RESUMEN ix
ABSTRACT x
ÍNDICE DE CONTENIDOS xi
ÍNDICE DE TABLAS xv
ÍNDICE DE FIGURAS xv
1. INFORMACIÓN GENERAL 1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 3
3.1. Beneficiarios directos 3
3.2. Beneficiarios indirectos 3
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 3
5. OBJETIVOS 4
5.1. Objetivo General 4
5.2. Objetivos Específicos 4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS 5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA 6
7.1. Antecedentes 6
7.1.1. Antecedentes internacionales 6
7.1.2. Antecedentes latinoamericanos 7

7.1.3. Antecedentes nacionales 7
7.2. Fundamentación teórica 8
7.2.1. Cultivo de tomate de riñón 8
7.2.2. Características de la variedad Pietro 10
7.2.3. Producción bajo invernadero 10
7.2.4. Sistemas de acolchado agrícola 11
7.2.5. Bioestimulantes agrícolas 12
7.2.6. Bioestimulante Evergreen 13
7.2.7. Comportamiento agronómico y variables de crecimiento 14
7.2.8. Rendimiento del cultivo 14
7.2.9. Evaluación del rendimiento productivo 15
7.2.10. Interacción entre el acolchado y los bioestimulantes 16
7.3. Marco conceptual 16
8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS 17
8.1. Hipótesis para el factor A (sistema de siembra) 18
8.2. Hipótesis para el factor B (dosis de Evergreen) 18
8.3. Hipótesis para la interacción de los factores (A × B) 18
9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL 18
9.1. Ubicación del ensayo 19
9.2. Materiales y equipos 19
9.2.1. Material vegetal 19
9.2.2. Insumos 19
9.2.3. Equipos y herramientas 19
9.3. Tipo de investigación 19
9.4. Métodos 20
9.5. Técnicas e instrumentos 20
9.6. Factores en estudio 20

9.7. Tratamientos 20
9.8. Diseño experimental y modelo estadístico 21
9.9. Características de la unidad experimental 22
9.10. Variables evaluadas y su operacionalización 23
9.11. Manejo del ensayo 25
9.12. Análisis estadístico 25
9.13. Tratamiento de los datos de cosecha 26
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 26
10.1. Altura de planta 27
10.2. Diámetro de tallo 30
10.3. Número de flores 32
10.4. Número de frutos 33
10.5. Resultados de cosecha 34
10.6. Caracterización agronómica según el sistema de siembra 38
10.7. Análisis integrado de la respuesta a Evergreen 39
10.8. Contrastación de la hipótesis 40
10.9. Síntesis de los resultados 41
11. DISCUSIÓN GENERAL 41
11.1. Comportamiento del cultivo bajo los dos sistemas de siembra 41
11.2. Respuesta a las dosis de Evergreen 42
11.3. Interacción entre el acolchado y Evergreen 43
11.4. Desarrollo reproductivo y producción 44
11.5. Comparación con investigaciones ecuatorianas 44
11.6. Fortalezas metodológicas 45
11.7. Limitaciones del estudio 46
11.8. Transparencia y trazabilidad 47
11.9. Impactos del estudio 47

11.9.1. Impacto técnico y productivo 47
11.9.2. Impacto científico 48
11.9.3. Impacto académico e institucional 49
11.9.4. Impacto ambiental y económico potencial 49
11.10. Aporte científico y síntesis del estudio 50
11.11. Líneas de investigación futura 50
11.12. Síntesis integradora 51
12. CONCLUSIONES 51
14. REFERENCIAS 53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados. 22
Tabla 2. Descripción de los tratamientos evaluados..... 37
Tabla 3. Esquema del análisis de varianza para el diseño de parcelas divididas 39
Tabla 4. Operacionalización de las variables agronómicas y productivas evaluadas. 41
Tabla 5. Altura media de planta según el sistema de siembra y la fecha de evaluación 44
Tabla 6. Resultados del análisis de varianza de la altura de planta en cada fecha evaluada 45
Tabla 7. Análisis de varianza del diámetro de tallo durante el periodo de evaluación 47
Tabla 8. Valores finales de las variables agronómicas por sistema de siembra y nivel de Evergreen..... 48
Tabla 9. Comparación de Tukey para el número de flores a los 112 días..... 49
Tabla 10. Resultados del análisis de varianza del número de frutos en las fechas evaluadas .. 50
Tabla 11. Comparación de las variables de cosecha entre sistemas de siembra 52
Tabla 12. Resumen del análisis de varianza de las variables finales de cosecha 54
Tabla 13. Comparación de Tukey para la circunferencia ecuatorial promedio del fruto 54
Tabla 14. Decisión sobre las hipótesis estadísticas 57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la altura media de planta según el sistema de siembra..... 45
Figura 2. Altura de las plantas a los 8 días en cada combinación de sistema de siembra y Evergreen..... 46
Figura 3. Diámetro medio de tallo a los 112 días según el sistema de siembra y Evergreen... 48
Figura 4. Número medio de frutos presentes por planta durante el periodo de evaluación 51
Figura 5. Peso total de frutos por repetición según el sistema de siembra..... 53
Figura 6. Circunferencia ecuatorial promedio del fruto según el sistema de siembra y Evergreen..... 55

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto: "Evaluación del comportamiento agronómico de la variedad pietro del tomate de riñón (S*olanum lycopersicum* l.) con dos sistemas de siembra con acolchado y sin acolchado y diferentes dosis de evergreen"

Fecha de inicio: 15 de enero del 2026

Fecha de finalización: 30 de junio de 2026

Lugar de ejecución

Sector: Salache

Parroquia: Eloy Alfaro

Cantón: Latacunga

Provincia: Cotopaxi

Zona: 3

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi (laboratorios e instalaciones de Salache)

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia: Carrera de Agronomía

Equipo de trabajo

Responsable del proyecto: Luis Daniel Caiza Chango

Tutor: Ing. Jácome Mogro Emerson Javier, Ph.D.

- **Lector 1:** Ing. Carlos Javier Torres Miño, Ph.D..
- **Lector 2:** Ing. Troya Sarzosa Jorge Fabián, Ph.D.
- **Lector 3:** Ing. Cristian Santiago Jiménez Jácome, Mg.

Coordinadora del proyecto

Nombre: Luis Daniel Caiza Chango

Teléfono: 0985327004

Correo electrónico: Luis.caiza0134@utc.edu.ec

Área de conocimiento: Agricultura

Línea de investigación: Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales

Línea de vinculación de la carrera: Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano social.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la producción de tomate de riñón bajo invernadero, las condiciones del suelo influyen de manera directa en el desarrollo del cultivo. La pérdida de humedad, los cambios de temperatura alrededor de las raíces y el aprovechamiento limitado de los nutrientes pueden reducir el crecimiento de las plantas y comprometer la rentabilidad de los pequeños y medianos productores. El ensayo se planteó a partir de esas dificultades. Se compararon parcelas con y sin acolchado y, dentro de cada sistema, cuatro niveles de Evergreen. Esta combinación permitió obtener información propia sobre la respuesta de la variedad Pietro en las condiciones del invernadero de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

El aporte teórico se centró en examinar si el efecto de Evergreen cambiaba con la presencia del acolchado. La bibliografía consultada aborda con mayor frecuencia estas prácticas por separado: unos estudios analizan las cubiertas plásticas y otros se ocupan de los bioestimulantes (Lamont, 2005; du Jardin, 2015). En cambio, su aplicación conjunta en tomate bajo invernadero andino ha sido menos estudiada. En el plano práctico, los datos del ensayo permiten comparar el crecimiento, el desarrollo reproductivo y la cosecha de la variedad Pietro en cada combinación evaluada.

El interés ambiental del ensayo estuvo relacionado con el manejo del agua, las malezas y los nutrientes. Al cubrir el suelo, el acolchado disminuye la evaporación y dificulta el desarrollo de malezas; según las condiciones de manejo, estos efectos pueden reducir la demanda de riego y de herbicidas (Kasirajan y Ngouajio, 2012). Evergreen se incorporó como complemento del programa nutricional. Los bioestimulantes pueden favorecer la absorción de nutrientes y la respuesta de la planta ante situaciones de estrés, por lo que su uso puede contribuir a aprovechar mejor los fertilizantes aplicados (Calvo et al., 2014). El impacto académico se expresa en que el ensayo se desarrolló en el invernadero de la carrera de Agronomía de la Universidad Técnica de Cotopaxi, de manera que la infraestructura, los registros de campo y la base de datos generada quedan disponibles como material de docencia e investigación para futuros trabajos de titulación.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos de la investigación fueron el estudiante investigador, los docentes y los estudiantes de la carrera de Agronomía de la Universidad Técnica de Cotopaxi, quienes dispondrán de los resultados como material de consulta académica y como referencia para futuras investigaciones relacionadas con el manejo agronómico del tomate de riñón. De manera referencial, se consideró una población de 434 estudiantes de la carrera de Agronomía, cifra reportada en un proyecto de investigación desarrollado en la misma institución (Córdova Toapanta, 2025).

3.2. Beneficiarios indirectos

Como beneficiarios indirectos se identificó a los productores hortícolas del cantón Latacunga y de la provincia de Cotopaxi, especialmente a aquellos vinculados con el cultivo de tomate de riñón bajo invernadero, así como a sus familias, comerciantes, intermediarios y consumidores locales. Como referencia del sector productivo, el Ministerio de Agricultura y Ganadería informó que 53 productores de Latacunga y Salcedo recibieron kits tecnológicos destinados al fortalecimiento de cultivos como maíz, papa, pastos de altura, tomate de riñón y cebolla paiteña (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2025).

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El tomate es uno de los cultivos hortícolas de mayor presencia en la alimentación y en los mercados internacionales. La FAO (2024) registra una producción anual superior a 180 millones de toneladas. Parte de ese volumen se obtiene bajo invernadero, donde la cubierta ayuda a reducir la exposición de las plantas a cambios bruscos del ambiente. Aun así, el rendimiento no depende únicamente de la protección externa. La pérdida de agua desde la superficie del suelo, las variaciones térmicas en la zona radicular y el aprovechamiento insuficiente de los nutrientes pueden limitar el crecimiento y la producción (Kader et al., 2017). En Ecuador, el MAG (2022) reportó cerca de 1691 ha de tomate de riñón y una producción superior a 55 mil toneladas, concentrada principalmente en la región Sierra. El cultivo tiene, por tanto, una presencia importante dentro de la horticultura nacional. Sin embargo, el rendimiento medio todavía se encuentra por debajo del potencial descrito para algunos híbridos manejados de forma tecnificada bajo invernadero. Esa diferencia puede estar asociada, entre otros aspectos, con la conservación de la humedad y con la eficiencia del manejo nutricional. En Cotopaxi, las decisiones sobre acolchado y bioestimulantes no siempre se apoyan en ensayos locales. Con frecuencia se aplican recomendaciones comerciales generales que no consideran

por completo las condiciones edafoclimáticas de la zona ni la respuesta particular de cada variedad.

El estudio surgió ante la falta de datos locales sobre el uso combinado del acolchado y Evergreen en tomate de riñón cultivado bajo invernadero. La literatura señala que las cubiertas plásticas modifican el microclima del suelo y que los bioestimulantes pueden influir en el crecimiento y el rendimiento de las hortalizas (Tarara, 2000; Yakhin et al., 2017). No obstante, la intensidad y la dirección de esas respuestas cambian con el material vegetal, el ambiente y la dosis aplicada. Por ello, los resultados obtenidos en otros lugares no bastan para anticipar el comportamiento de la variedad Pietro en Cotopaxi. Esta falta de estudios limitó la adopción informada de estas tecnologías, pues sin evidencia experimental local no era posible establecer si el acolchado, los niveles de Evergreen o su interacción modificaban el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento del cultivo.

En consecuencia, la investigación se orientó a responder la siguiente interrogante: ¿cuál fue el efecto de dos sistemas de siembra, con acolchado y sin acolchado, y de diferentes dosis del bioestimulante Evergreen sobre el comportamiento agronómico de la variedad Pietro de tomate de riñón (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero?

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento agronómico de la variedad Pietro de tomate de riñón (*Solanum lycopersicum* L.) bajo dos sistemas de siembra (con acolchado y sin acolchado) y diferentes dosis de Evergreen en condiciones de invernadero.

5.2. Objetivos Específicos

- Analizar el efecto del uso de acolchado sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate variedad Pietro.
- Evaluar la respuesta del cultivo frente a diferentes dosis del bioestimulante Evergreen.
- Determinar la interacción entre el sistema de siembra y las dosis del bioestimulante en el comportamiento agronómico del cultivo.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1.

Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

Objetivo	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Medio de verificación
Analizar el efecto del uso de acolchado sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate variedad Pietro.	Preparación del suelo e instalación del acolchado en los tratamientos correspondientes; trasplante de plántulas y monitoreo del crecimiento.	Se caracterizó la influencia del acolchado en el desarrollo vegetativo del cultivo.	Registros de campo, fichas de evaluación agronómica, fotografías y tablas de datos.
Evaluar la respuesta del cultivo frente a diferentes dosis del bioestimulante Evergreen.	Aplicación de las dosis según los tratamientos; registro de altura de planta, diámetro de tallo, número de flores y número de frutos.	Se describió la respuesta del cultivo a las dosis evaluadas.	Cuadernos de campo, base de datos de variables y evidencias fotográficas.
Determinar la interacción entre el sistema de siembra y las dosis de Evergreen sobre el comportamiento agronómico del cultivo.	Organización de datos por sistema, nivel y repetición; análisis de parcelas divididas en InfoStat y comparación de medias mediante Tukey cuando correspondió.	Se determinó la respuesta conjunta del sistema de siembra y los niveles de Evergreen en las variables agronómicas y productivas.	Base de datos, cuadros de análisis de varianza, comparaciones de medias, tablas y gráficos.

Nota. Elaboración propia

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Antecedentes

7.1.1. Antecedentes internacionales

Weisser et al. (2023) evaluaron en Australia el efecto de un extracto bioestimulante fortificado, formulado a partir de algas marinas y aplicado de manera combinada al sustrato y al follaje, sobre la productividad y la fisiología de plantas de tomate cultivadas en condiciones protegidas, mediante un ensayo con distribución aleatoria de tratamientos frente a un testigo sin aplicación. Los resultados mostraron que el bioestimulante incrementó el rendimiento total de fruta por planta en 20 % (246 g; $p = 0,019$) y el rendimiento comercializable en 522 g por planta ($p = 0,001$), elevando la proporción de fruta comercializable de 55 % a 82 %, junto con un aumento de 38 % en el número de frutos comercializables. Los autores concluyeron que la aplicación regular del producto mejoró la productividad y la calidad del tomate, hallazgo que se relacionó con la presente investigación porque respaldó la evaluación de bioestimulantes como práctica capaz de modificar el rendimiento del cultivo bajo invernadero.

Díaz-Pérez y Batal (2002) estudiaron en Estados Unidos el efecto de acolchados plásticos de distintos colores sobre el crecimiento y el rendimiento del tomate, en un experimento de campo en el que midieron la temperatura de la zona radicular como variable explicativa del comportamiento de las plantas. El trabajo evidenció que el color de la película plástica modificó la temperatura del suelo en torno a las raíces y que el crecimiento y el rendimiento del cultivo se asociaron con dicha temperatura, registrándose el mejor desempeño en las coberturas que moderaron el calentamiento de la zona radicular dentro de un rango favorable. Los autores concluyeron que el efecto del acolchado sobre el tomate opera en gran medida a través del microclima edáfico, conclusión que sustentó la inclusión del factor acolchado en el presente estudio como práctica con capacidad de alterar las condiciones de crecimiento del cultivo.

Parađiković et al. (2011) analizaron en Croacia el efecto de bioestimulantes naturales sobre el rendimiento y la calidad nutricional del pimiento amarillo dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero, aplicando los productos por vía foliar y radicular en un ensayo con tratamientos comparados frente a plantas sin aplicación. Los resultados indicaron que las plantas tratadas alcanzaron mayor rendimiento y mejor calidad de fruto que el testigo, con incrementos en el contenido de compuestos de interés nutricional, por lo que los autores concluyeron que los bioestimulantes constituyen una herramienta eficaz para mejorar la productividad de hortalizas de fruto en sistemas protegidos. Este antecedente se vinculó con la

investigación porque demostró la respuesta positiva de una solanácea hortícola a la aplicación de bioestimulantes en condiciones de invernadero comparables a las del ensayo desarrollado.

7.1.2. Antecedentes latinoamericanos

López-López et al. (2009) evaluaron en México la producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) bajo diferentes láminas de riego con y sin acolchado plástico, mediante un experimento factorial analizado con análisis de varianza y comparación de medias de Tukey al 5 %. El estudio encontró diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) para el efecto del acolchado, de la lámina de riego y de su interacción sobre el rendimiento de fruto, pues los tratamientos con cobertura plástica promediaron 56,38 t/ha frente a 24,42 t/ha del suelo desnudo, lo que representó un incremento de 56,6 % atribuido a la reducción de la evaporación del agua en la superficie del suelo. Los autores concluyeron que el acolchado plástico combinado con riego localizado mejoró sustancialmente la productividad, antecedente que aportó a la presente investigación una referencia cuantitativa del efecto del acolchado sobre el rendimiento de una solanácea.

García-León et al. (2018) compararon en México la producción de variedades tradicionales de tomate cultivadas bajo invernadero con acolchados plásticos de color blanco, gris y negro frente a un testigo sin acolchar, evaluando rendimiento total y rendimiento de fruto comercializable mediante análisis de varianza. Los resultados mostraron diferencias entre colores de cobertura ($p \leq 0,01$), con el mayor rendimiento en el acolchado blanco, que superó en 16,42 % al suelo sin acolchar y en 26,43 % al acolchado gris, comportamiento que los autores atribuyeron al menor calentamiento del suelo y a la mayor conservación de la humedad en la capa superficial. La conclusión de que el tipo de acolchado condiciona la magnitud de la respuesta productiva del tomate se relacionó de manera directa con el presente trabajo, que contrastó la presencia y la ausencia de cobertura del suelo en el mismo cultivo y sistema de producción.

7.1.3. Antecedentes nacionales

Ortiz Camas (2025) evaluó en Cuenca, provincia del Azuay, el efecto de dos bioestimulantes a base de citoquininas y de aminoácidos libres sobre el desarrollo vegetativo, el rendimiento y la calidad del tomate de riñón bajo invernadero, empleando un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos más un testigo y tres repeticiones, con registro de altura de planta, número de hojas, brotes laterales, diámetro de tallo, número y peso de frutos, y análisis mediante prueba de Tukey al 5 % en el programa InfoStat. El estudio determinó que la aplicación de los bioproductos influyó en el cultivo, pues todos los tratamientos presentaron diferencias frente al

testigo en la mayoría de variables, aunque ninguno de los productos modificó el número de brotes laterales ni el diámetro de tallo. La conclusión de que la respuesta del tomate a los bioestimulantes varía según la variable evaluada se conectó con la presente investigación, que midió un conjunto similar de variables agronómicas frente a dosis crecientes de un bioestimulante comercial.

Gabriel-Ortega et al. (2022) evaluaron y seleccionaron híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) por sus características agronómicas y su potencial de rendimiento en Puerto la Boca, provincia de Manabí, en un invernadero de 1000 m² donde establecieron ocho tratamientos correspondientes a ocho híbridos comerciales, entre ellos Pietro, bajo un diseño de filas y columnas con ocho repeticiones, midiendo altura de planta, diámetro de tallo y peso de frutos. Los resultados permitieron identificar diferencias de comportamiento entre los materiales evaluados y seleccionar los híbridos de mejor desempeño productivo para las condiciones locales, concluyendo que la evaluación agronómica comparativa constituye la vía adecuada para recomendar materiales a los productores. Este antecedente resultó pertinente porque incluyó a la variedad Pietro entre los híbridos evaluados en condiciones ecuatorianas de invernadero, el mismo material vegetal del presente estudio.

7.2. Fundamentación teórica

7.2.1. Cultivo de tomate de riñón

El tomate cultivado (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia Solanaceae y tiene su origen en la región andina de América del Sur, desde donde fue llevado a Mesoamérica, escenario de su domesticación, y posteriormente a Europa tras la conquista, proceso que dio lugar a la enorme diversidad varietal que hoy sustenta su producción mundial (Bergougnoux, 2014). El mejoramiento moderno de la especie ha estado dirigido a incrementar el rendimiento, la firmeza y la vida poscosecha del fruto, así como la resistencia a enfermedades, objetivos que explican el predominio actual de híbridos F1 en los sistemas comerciales de producción, tanto a campo abierto como bajo cubierta (Bai y Lindhout, 2007).

Desde el punto de vista botánico, el tomate es una planta herbácea de tallos semileñosos y hojas compuestas, con sistema radicular pivotante capaz de explorar el perfil del suelo en profundidad cuando las condiciones lo permiten, aunque la mayor densidad de raíces se concentra en los primeros centímetros, lo que vuelve al cultivo sensible a las variaciones de humedad y temperatura de la capa superficial. Las flores, de color amarillo, se agrupan en racimos y el fruto es una baya carnosa cuya forma, tamaño y color dependen de la variedad, mientras que el hábito de crecimiento puede ser determinado, con floración terminal que limita la altura de la

planta, o indeterminado, con crecimiento y floración continuos a lo largo del ciclo, característica esta última que se aprovecha en los cultivos bajo invernadero conducidos mediante tutorado (Nuez, 1995).

El cultivo requiere temperaturas medias entre 18 y 25 °C para un desarrollo adecuado, con sensibilidad marcada a las heladas y a los excesos térmicos durante la floración, suelos profundos, sueltos y bien drenados, con pH ligeramente ácido a neutro, y un suministro hídrico regular, dado que los déficits y los excesos de agua afectan el cuajado y favorecen desórdenes fisiológicos del fruto. El manejo agronómico comprende la producción de plántulas en semillero, el trasplante, el tutorado, las podas de brotes axilares, la fertilización fraccionada según la demanda de cada etapa fenológica y el control fitosanitario, labores que en conjunto determinan el potencial productivo alcanzable por la planta (Jaramillo et al., 2007). El valor del tomate como alimento se sustenta en su aporte de vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes, atributos que, sumados a su versatilidad de consumo en fresco y procesado, lo han consolidado como una de las hortalizas de mayor demanda en los mercados (FAO, 2013).

El ciclo del cultivo comprende las etapas de germinación y crecimiento de plántula en semillero, establecimiento posterior al trasplante, desarrollo vegetativo, floración, cuajado, llenado y maduración de frutos, fases que en los híbridos indeterminados se superponen porque la planta emite racimos de manera continua mientras mantiene crecimiento apical. La duración de cada etapa depende de la temperatura acumulada y del manejo, de modo que bajo invernadero el inicio de cosecha suele ubicarse entre los 90 y 120 días después del trasplante y el periodo productivo puede extenderse varios meses si se conservan el vigor de la planta y la sanidad del cultivo, condición que convierte a las prácticas de manejo del suelo y de la nutrición en determinantes de la productividad acumulada del ciclo (Nuez, 1995).

La sanidad constituye otro componente crítico del sistema productivo, pues el tomate bajo invernadero es afectado por plagas como mosca blanca, minadores y ácaros, y por enfermedades fúngicas y bacterianas favorecidas por la humedad relativa alta, entre ellas el tizón tardío, la botritis y las marchiteces vasculares, problemas cuyo manejo integrado combina la prevención cultural, el monitoreo y la aplicación racional de productos fitosanitarios. Las buenas prácticas agrícolas recomiendan precisamente integrar el manejo del microclima, la nutrición balanceada y la higiene del cultivo como primera línea de defensa, criterio bajo el cual prácticas como el acolchado adquieren un valor sanitario adicional al reducir el salpicado de suelo hacia el follaje y la presión de malezas hospederas (Jaramillo et al., 2007).

En el Ecuador, el tomate de riñón se produce principalmente en la región Sierra bajo sistemas de cultivo protegido, con una superficie nacional cercana a las 1691 hectáreas y una producción superior a las 55 mil toneladas, lo que ubica al rubro entre las hortalizas de mayor relevancia económica del país (MAG, 2022). Las estadísticas agropecuarias oficiales registran al tomate riñón entre los cultivos transitorios monitoreados anualmente, reflejo de su peso en la canasta hortícola nacional y de la importancia de disponer de información técnica que respalde las decisiones de manejo de los productores (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2024).

7.2.2. Características de la variedad Pietro

Pietro es un híbrido de tomate de riñón de crecimiento indeterminado y de tipo larga vida, cuyas plantas vigorosas y de buena cobertura foliar se adaptan tanto al cultivo bajo invernadero como a campo abierto, razón por la cual se ha difundido ampliamente entre los productores de la Sierra ecuatoriana. Sus frutos, firmes y de buena conservación poscosecha, responden a las exigencias de los mercados locales en cuanto a tamaño, coloración y vida de anaquel, atributos que explican la alta demanda comercial del material y su uso frecuente como referencia en ensayos de evaluación varietal.

La inclusión de Pietro en evaluaciones comparativas de híbridos realizadas en condiciones ecuatorianas de invernadero confirma su posicionamiento entre los materiales de interés productivo del país, pues ha sido considerado junto a híbridos de reciente introducción en estudios orientados a seleccionar los cultivares de mejor comportamiento agronómico y potencial de rendimiento (Gabriel-Ortega et al., 2022). El hábito indeterminado del híbrido exige un manejo basado en tutorado y podas que canalicen los fotoasimilados hacia los racimos, de modo que su desempeño final depende en gran medida de las prácticas de manejo del suelo y de la nutrición, lo que justificó evaluarlo frente al acolchado y a dosis crecientes de bioestimulante en la presente investigación.

7.2.3. Producción bajo invernadero

La producción de tomate bajo invernadero permite atenuar el efecto de los factores climáticos adversos, en particular las lluvias, las heladas y las fluctuaciones bruscas de temperatura, y crear un ambiente más estable para el crecimiento del cultivo, lo cual se traduce en frutos de mayor calidad, ciclos productivos más prolongados y rendimientos superiores a los obtenidos a campo abierto (Jaramillo et al., 2007). El cultivo protegido facilita, además, la programación del riego y de la fertilización, el manejo fitosanitario preventivo y la conducción de plantas

indeterminadas en alta densidad, ventajas que explican que la mayor parte del tomate de riñón ecuatoriano se produzca bajo este sistema en los valles interandinos.

El desempeño del cultivo protegido depende, sin embargo, del manejo del microclima interno, pues la radiación, la temperatura y la humedad relativa interactúan con las prácticas culturales para definir la tasa de crecimiento, el cuajado de frutos y la incidencia de enfermedades, de manera que la tecnología del invernadero no sustituye al manejo agronómico sino que amplifica sus efectos, sean positivos o negativos (Heuvelink, 2005). En este contexto, las prácticas dirigidas al suelo, como el acolchado, y las dirigidas a la fisiología de la planta, como los bioestimulantes, adquieren especial interés porque actúan sobre componentes del sistema productivo que el invernadero por sí mismo no controla: la economía hídrica y térmica de la zona radicular y la eficiencia interna de la planta en el uso de los recursos disponibles (FAO, 2013).

7.2.4. Sistemas de acolchado agrícola

El acolchado o mulching es una práctica agronómica que consiste en cubrir la superficie del suelo con materiales orgánicos, como pajas y residuos de cosecha, o sintéticos, principalmente películas de polietileno, con el propósito de modificar el microclima de la zona radicular y mejorar las condiciones de crecimiento del cultivo. El empleo de plásticos en la horticultura transformó los sistemas de producción de hortalizas al permitir el control parcial de la temperatura y de la humedad del suelo, el manejo de malezas y la protección del fruto frente al contacto directo con el terreno, beneficios que explican su adopción masiva en cultivos de alto valor (Lamont, 2005).

El acolchado plástico actúa al cubrir la superficie del suelo. La película reduce el contacto directo con la atmósfera, limita la evaporación y ayuda a conservar humedad en la zona donde se desarrollan las raíces. También modifica la temperatura edáfica, aunque el efecto depende del color y de las propiedades ópticas del material. Las cubiertas oscuras absorben más radiación y tienden a calentar el suelo; las claras o reflectivas devuelven parte de esa energía hacia el dosel (Tarara, 2000). La falta de luz bajo las películas opacas dificulta el crecimiento de malezas. A ello se suman una menor lixiviación de nutrientes y una menor compactación superficial por el impacto del agua, condiciones que favorecen un ambiente radicular más estable (Kasirajan y Ngouajio, 2012).

Los resultados publicados no muestran un efecto único del acolchado. En algunos cultivos se han observado cosechas más tempranas, mayor desarrollo vegetativo o mejoras en el rendimiento y la calidad; en otros, las diferencias son menores. La respuesta depende de la

especie, el clima, la película empleada y el sistema de riego, por lo que debe evaluarse en cada ambiente (Kader et al., 2017). En tomate, en particular, se ha documentado que el efecto del acolchado sobre el crecimiento y el rendimiento está mediado por la temperatura de la zona radicular, con respuestas positivas cuando la cobertura mantiene ese parámetro dentro del rango favorable para la especie (Díaz-Pérez y Batal, 2002), y que la conservación de la humedad superficial bajo la película se traduce en una mayor disponibilidad de agua para la planta en comparación con el suelo desnudo (Gordillo-Melgoza et al., 2018).

Los materiales de acolchado se clasifican en orgánicos y sintéticos. Los primeros, como pajas, residuos de cosecha y cortezas, aportan materia orgánica al descomponerse y moderan la temperatura del suelo, aunque su efecto sobre la conservación de humedad es menos uniforme y su disponibilidad depende de la zona; los segundos, dominados por las películas de polietileno de distintos colores y calibres, ofrecen un desempeño más predecible y de instalación mecanizable, con variantes negras, plateadas, blancas y bicolor cuyas propiedades ópticas definen el balance térmico resultante en el suelo y en el dosel (Kasirajan y Ngouajio, 2012). La elección de la película depende del efecto que se busque en el cultivo. El material negro se emplea principalmente para limitar las malezas y aumentar la temperatura del suelo en ambientes fríos. Las cubiertas reflectivas ayudan a moderar el calentamiento de la zona radicular en condiciones más cálidas y pueden alterar la presencia de insectos vectores. Las blancas, en cambio, reflejan una mayor cantidad de luz hacia el dosel. Por estas diferencias, el tomate no responde de la misma manera a todos los colores de acolchado, como muestran los antecedentes revisados.

En los invernaderos de la Sierra andina, la cobertura plástica puede ayudar a conservar la humedad, moderar los cambios de temperatura en la zona radicular y limitar el crecimiento de malezas. Su pertinencia agronómica debe valorarse mediante indicadores locales de crecimiento y rendimiento, como los generados en la presente investigación, en la cual el factor sistema de siembra contrastó la presencia y la ausencia de cobertura plástica del suelo.

7.2.5. Bioestimulantes agrícolas

Un bioestimulante vegetal se define como cualquier sustancia o microorganismo que, aplicado a las plantas, estimula los procesos naturales de nutrición con independencia de su contenido de nutrientes, mejorando la eficiencia en el uso de los elementos minerales, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad del cultivo (du Jardin, 2015). Esta definición delimita una categoría de insumos distinta de los fertilizantes y de los plaguicidas, pues el bioestimulante no aporta nutrientes en cantidades agronómicamente determinantes ni controla organismos nocivos, sino

que actúa sobre la fisiología de la planta y sobre los procesos de la rizosfera que condicionan la absorción y la asimilación de los recursos.

Las principales categorías de bioestimulantes comprenden las sustancias húmicas, los hidrolizados de proteínas y otros compuestos nitrogenados, los extractos de algas marinas, el quitosano y otros biopolímeros, los elementos benéficos, los hongos micorrízicos y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Los ácidos húmicos y fúlvicos estimulan el desarrollo radicular y la actividad de las bombas de protones de la membrana plasmática, lo que incrementa la capacidad de absorción de nutrientes de la raíz (Canellas et al., 2015), mientras que los extractos de algas aportan polisacáridos, fitohormonas y compuestos osmoprotectores que mejoran el crecimiento y la tolerancia de las plantas a condiciones adversas (Battacharyya et al., 2015). Los hidrolizados proteicos, por su parte, suministran aminoácidos y péptidos bioactivos con efectos sobre el metabolismo del nitrógeno y la actividad antioxidante de los tejidos (Colla et al., 2015).

Los mecanismos de acción de estos productos incluyen la modulación hormonal del crecimiento, la activación de enzimas del metabolismo primario, el incremento de la fotosíntesis y la estimulación de la microbiota benéfica del suelo. Su expresión depende del nivel aplicado, del momento y de la vía de aplicación, así como del estado fisiológico del cultivo, razón por la cual la respuesta debe evaluarse experimentalmente para cada especie y ambiente (Yakhin et al., 2017). En esta investigación se estudiaron cuatro niveles nominales de Evergreen: 0, 2, 4 y 6 mL.

El interés por los bioestimulantes ha crecido de manera sostenida en la agricultura moderna porque permiten mejorar la productividad y la eficiencia en el uso de fertilizantes dentro de esquemas de intensificación sostenible, con un perfil ambiental favorable frente a los insumos convencionales (Calvo et al., 2014). En horticultura protegida, donde el valor del producto y el control del ambiente facilitan la expresión de los efectos del insumo, estos productos se han incorporado como complemento de los programas de fertilización para sostener el rendimiento y la calidad del fruto (Rouphael y Colla, 2020).

7.2.6. Bioestimulante Evergreen

Evergreen es un complejo nutricional sistémico con acción bioestimulante, formulado como producto soluble en agua que contiene veintidós elementos nutricionales, entre macronutrientes, micronutrientes, reguladores de crecimiento de origen vegetal, vitaminas y extractos de algas, además de ácidos húmicos de alta calidad obtenidos a partir de leonardita, que actúan como acondicionador del suelo y agente quelatante natural (Agripac, s.f.). Según la

información técnica del distribuidor, los componentes del producto se translocan dentro del sistema vascular de la planta por acción sistémica, promueven el desarrollo de los tejidos tratados y pueden emplearse en una amplia gama de cultivos, entre ellos las hortalizas, con buena compatibilidad de mezcla con otros insumos de uso agrícola común.

En la presente investigación, Evergreen se aplicó en cuatro niveles nominales: 0, 2, 4 y 6 mL de producto, siendo el nivel 0 el tratamiento testigo sin aplicación del bioestimulante. Estos niveles permitieron evaluar la respuesta del cultivo frente a cantidades crecientes del producto y establecer si su efecto dependió del sistema de siembra. La elección de Evergreen respondió a su disponibilidad comercial en el mercado ecuatoriano y a su formulación multicomponente.

7.2.7. Comportamiento agronómico y variables de crecimiento

El comportamiento agronómico de un cultivo es la respuesta integral que las plantas expresan frente a las prácticas de manejo y a las condiciones del ambiente de producción, y se evalúa mediante variables morfológicas y productivas registradas a lo largo del ciclo. En tomate, la evaluación se apoya en variables que representan distintas fases del ciclo. La altura y el diámetro del tallo describen el crecimiento vegetativo; el número de flores y frutos permite seguir el desarrollo reproductivo; y el peso de la cosecha aporta información sobre la producción alcanzada. Consideradas en conjunto, estas mediciones permiten caracterizar el comportamiento del material evaluado (Jaramillo et al., 2007).

El seguimiento de la altura y del diámetro del tallo permite observar cómo avanzó el crecimiento vegetativo en cada tratamiento. Estas mediciones no representan por sí solas el rendimiento, pero ayudan a reconocer cambios durante el ciclo. El número de frutos y su peso se relacionan de forma más directa con la cosecha, por lo que ambos grupos de variables deben interpretarse de manera complementaria. Los ensayos recientes con bioestimulantes en tomate de riñón bajo invernadero en el Ecuador han empleado precisamente este conjunto de variables, registrando respuestas diferenciadas según el parámetro considerado, pues algunos productos modifican el crecimiento y el rendimiento sin alterar otros atributos estructurales de la planta (Ortiz Camas, 2025), lo que confirma la conveniencia de medir varias variables simultáneamente, tal como se hizo en la presente investigación con la altura de planta, el diámetro de tallo, el número de flores y el número de frutos.

7.2.8. Rendimiento del cultivo

El rendimiento es la variable de síntesis del comportamiento agronómico, pues integra los efectos del genotipo, del ambiente y del manejo sobre los componentes productivos de la planta,

y en tomate se expresa como el producto del número de frutos cosechados por el peso promedio del fruto, referido a la planta o a la unidad de superficie. Los híbridos modernos cultivados bajo invernadero alcanzan rendimientos muy superiores a los promedios nacionales registrados en sistemas de manejo convencional, brecha que evidencia el margen de mejora disponible mediante prácticas que optimicen el ambiente radicular y la fisiología del cultivo (Heuvelink, 2005).

En el caso ecuatoriano, las cifras oficiales de superficie y producción del tomate riñón, alrededor de 1691 hectáreas y más de 55 mil toneladas, equivalen a un rendimiento promedio nacional cercano a 33 t/ha (cálculo a partir de MAG, 2022), valor que se ubica por debajo del potencial reportado para híbridos indeterminados conducidos bajo invernadero con manejo tecnificado. La literatura regional muestra que prácticas como el acolchado pueden elevar el rendimiento de las solanáceas en proporciones considerables cuando la limitante principal es la economía hídrica del suelo (López-López et al., 2009), y que los bioestimulantes incrementan la fracción comercializable de la cosecha al mejorar el cuajado y el llenado del fruto (Weisser et al., 2023), antecedentes que delimitan las hipótesis de respuesta planteadas en este estudio para los factores evaluados y su interacción. En la presente investigación, la dimensión productiva se evaluó mediante el número final de frutos, el número de frutos cosechados por planta, el peso cosechado por planta, el peso promedio del fruto y la circunferencia ecuatorial promedio del fruto. Estas variables permitieron diferenciar los componentes cuantitativos del rendimiento de los atributos físicos de la cosecha y analizar su respuesta frente al sistema de siembra, los niveles de Evergreen y la interacción entre ambos factores.

7.2.9. Evaluación del rendimiento productivo

La evaluación del rendimiento productivo integra la cantidad de frutos cosechados con su peso y sus atributos físicos. En tomate, el rendimiento por planta depende del número de frutos y de su peso promedio; por ello, el análisis debe considerar tanto los componentes cuantitativos de la cosecha como la calidad física del fruto (Heuvelink, 2005).

En la presente investigación, los registros de cosecha se utilizaron para caracterizar el comportamiento productivo de las combinaciones evaluadas mediante el número de frutos cosechados por planta, el peso cosechado por planta, el peso promedio y la circunferencia ecuatorial promedio del fruto. Estos indicadores permitieron comparar agronómicamente los tratamientos y complementar la evaluación de las variables de crecimiento y desarrollo del cultivo.

7.2.10. Interacción entre el acolchado y los bioestimulantes

La justificación técnica de evaluar conjuntamente el acolchado y las dosis de bioestimulante reside en que ambos factores actúan sobre eslabones complementarios del mismo proceso productivo: la cobertura del suelo mejora la oferta de agua y la estabilidad térmica de la zona radicular, mientras que el bioestimulante incrementa la capacidad de la planta para aprovechar los recursos disponibles, de modo que el efecto de uno puede potenciarse o atenuarse según el nivel del otro. Un suelo con humedad y temperatura más estables puede mantener activas las raíces durante más tiempo. Bajo esas condiciones, los compuestos que favorecen el desarrollo radicular podrían manifestar mejor su efecto (Canellas et al., 2015). También puede ocurrir lo contrario: si el acolchado reduce de manera suficiente el estrés hídrico y térmico, el margen de respuesta al bioestimulante podría ser menor, ya que estos productos suelen mostrar mayores beneficios cuando la planta enfrenta alguna limitación (Yakhin et al., 2017).

La existencia y la dirección de esta interacción no pueden anticiparse con certeza desde la literatura, dado que dependen del cultivo, del producto, de las dosis y del ambiente, razón por la cual el diseño experimental del estudio incorporó la combinación factorial de los dos sistemas de siembra con las cuatro dosis de Evergreen, estructura que permitió descomponer el efecto de cada factor y de su interacción sobre las variables agronómicas y el rendimiento. Esta aproximación respondió, precisamente, al tercer objetivo específico de la investigación y constituye su principal aporte frente a los estudios previos disponibles, que evaluaron el acolchado o los bioestimulantes de manera independiente.

7.3. Marco conceptual

Comportamiento agronómico. Respuesta integral del cultivo a las prácticas de manejo y al ambiente de producción, evaluada mediante variables morfológicas y productivas registradas durante el ciclo, como la altura de planta, el diámetro de tallo, el número de flores y el número de frutos (Jaramillo et al., 2007).

Acolchado agrícola. Práctica que consiste en cubrir la superficie del suelo con materiales orgánicos o sintéticos para conservar la humedad, regular la temperatura edáfica, suprimir malezas y mejorar las condiciones de la zona radicular del cultivo (Lamont, 2005).

Bioestimulante vegetal. Sustancia o microorganismo que, aplicado a la planta, estimula los procesos naturales de nutrición con independencia de su contenido de nutrientes, mejorando la eficiencia en el uso de los elementos minerales, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad del cultivo (du Jardin, 2015).

Nivel de Evergreen. Cantidad nominal del bioestimulante considerada en cada tratamiento. En la investigación se evaluaron los niveles 0, 2, 4 y 6 mL, con el propósito de analizar la respuesta del cultivo y su interacción con el sistema de siembra. (Yakhin et al., 2017).

Cultivo bajo invernadero. Sistema de producción protegida que atenúa los factores climáticos adversos y estabiliza el ambiente de crecimiento, permitiendo ciclos más largos, mayor calidad de fruto y rendimientos superiores a los de campo abierto (FAO, 2013).

Híbrido de crecimiento indeterminado. Material vegetal resultante del cruzamiento dirigido de líneas parentales, cuya planta crece y florece de manera continua durante el ciclo, característica que se aprovecha en invernadero mediante tutorado y podas (Nuez, 1995).

Rendimiento. Cantidad de producto cosechable obtenida por planta o por unidad de superficie, resultante del número de frutos y de su peso promedio, que sintetiza el efecto del genotipo, del ambiente y del manejo sobre el cultivo (Heuvelink, 2005).

Variables productivas de cosecha. Indicadores derivados de los registros de frutos recolectados, entre ellos el número de frutos por planta, el peso cosechado por planta, el peso promedio y la circunferencia ecuatorial promedio, que permiten comparar el comportamiento productivo de los tratamientos.

Relación beneficio-costo. Indicador económico que resulta de dividir los ingresos totales entre los costos totales de un tratamiento, cuya interpretación señala rentabilidad cuando supera la unidad, equilibrio cuando la iguala y pérdida cuando es inferior (CIMMYT, 1988).

Diseño de parcelas divididas. Diseño experimental utilizado cuando un factor se aplica en unidades de mayor tamaño, denominadas parcelas principales, y otro factor se distribuye en unidades menores o subparcelas. Este diseño dispone de un error para la parcela principal y otro para las subparcelas, lo que permite evaluar los efectos principales y la interacción entre los factores.

Análisis de varianza. Procedimiento estadístico que descompone la variabilidad total de los datos experimentales en fuentes atribuibles a los factores, a su interacción y al error, y permite probar la existencia de diferencias entre tratamientos con un nivel de significación establecido (Gómez y Gómez, 1984).

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

Por tratarse de una investigación experimental con enfoque cuantitativo, el estudio se orientó mediante hipótesis estadísticas relacionadas con los tres objetivos específicos. Las hipótesis permitieron evaluar el efecto principal del sistema de siembra, el efecto principal de los niveles de Evergreen y la interacción entre ambos factores mediante el modelo de parcelas divididas

procesado en InfoStat. La decisión sobre las hipótesis se estableció con un nivel de significación de $\alpha = 0,05$.

8.1. Hipótesis para el factor A (sistema de siembra)

Esta hipótesis respondió al primer objetivo específico, orientado a analizar el efecto del uso de acolchado sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo.

H0: el sistema de siembra (con acolchado y sin acolchado) no produce diferencias en el comportamiento agronómico de la variedad Pietro de tomate de riñón.

H1: el sistema de siembra (con acolchado y sin acolchado) produce diferencias en el comportamiento agronómico de la variedad Pietro de tomate de riñón.

8.2. Hipótesis para el factor B (dosis de Evergreen)

Esta hipótesis respondió al segundo objetivo específico, dirigido a evaluar la respuesta del cultivo frente a diferentes dosis del bioestimulante.

H0: las diferentes dosis del bioestimulante Evergreen (0, 2, 4 y 6 mL) no producen diferencias en el comportamiento agronómico de la variedad Pietro de tomate de riñón.

H1: al menos una de las dosis del bioestimulante Evergreen produce diferencias en el comportamiento agronómico de la variedad Pietro de tomate de riñón.

8.3. Hipótesis para la interacción de los factores (A × B)

Esta hipótesis respondió al tercer objetivo específico, enfocado en determinar la interacción entre el sistema de siembra y las dosis del bioestimulante en el comportamiento agronómico del cultivo.

H0: no existe interacción entre el sistema de siembra y las dosis del bioestimulante Evergreen sobre el comportamiento agronómico de la variedad Pietro de tomate de riñón.

H1: existe interacción entre el sistema de siembra y las dosis del bioestimulante Evergreen sobre el comportamiento agronómico de la variedad Pietro de tomate de riñón.

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de carácter experimental, orientado a evaluar el comportamiento agronómico de la variedad Pietro de tomate de riñón (*Solanum lycopersicum* L.) frente a dos sistemas de siembra y diferentes dosis del bioestimulante Evergreen en condiciones de invernadero. La metodología se estructuró de modo que cada decisión, desde la ubicación del ensayo hasta el procesamiento estadístico, respondiera a los objetivos planteados y garantizara la validez y la replicabilidad de los resultados.

9.1. Ubicación del ensayo

El experimento se estableció en el invernadero de la carrera de Agronomía de la Universidad Técnica de Cotopaxi, ubicado en el barrio Salache Bajo, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, zona 3. Las condiciones agroecológicas del sector, propias del callejón interandino, junto con el ambiente controlado del invernadero, ofrecieron un entorno adecuado para el desarrollo del cultivo durante el periodo de evaluación ubicado a una altitud aproximada de 2739 m.s.n.m. presenta un clima seco templado frio, con una temperatura media anual de 14.2 C, una humedad relativa promedio de 82 %.

9.2. Materiales y equipos

9.2.1. Material vegetal

Se empleó la variedad Pietro de tomate de riñón, híbrido de crecimiento indeterminado y de tipo larga vida, seleccionado por su adaptación al cultivo bajo invernadero y por su demanda comercial en la Sierra ecuatoriana. Las plántulas se obtuvieron de un semillero comercial y se trasplantaron cuando alcanzaron el grado de desarrollo apropiado para el establecimiento en campo.

9.2.2. Insumos

Los insumos utilizados comprendieron el bioestimulante Evergreen como factor en estudio, el material de acolchado para las parcelas correspondientes, los fertilizantes del programa nutricional base, los productos para el manejo fitosanitario y el material de tutorado. El agua de riego se suministró mediante el sistema disponible en el invernadero.

9.2.3. Equipos y herramientas

Para el registro de las variables se utilizaron flexómetro y regla graduada para medir la altura de planta, calibrador para determinar el diámetro del tallo y material métrico para registrar la circunferencia ecuatorial de los frutos, balanza de precisión para registrar el peso de los frutos, fichas y libreta de campo, cámara fotográfica, etiquetas y herramientas agrícolas.

9.3. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo experimental con enfoque cuantitativo, pues se manipularon de manera deliberada las variables independientes, el sistema de siembra (con acolchado y sin acolchado) y las dosis del bioestimulante Evergreen (0, 2, 4 y 6 mL), para observar su efecto sobre las variables de respuesta del cultivo bajo condiciones controladas. El alcance fue explicativo, en tanto el diseño permitió establecer la relación entre los tratamientos aplicados y

el comportamiento agronómico de la variedad Pietro, así como la interacción entre los dos factores evaluados.

9.4. Métodos

Se aplicaron el método experimental, base de la manipulación controlada de los factores y de la comparación entre tratamientos; el método inductivo, que a partir de las observaciones registradas en las unidades experimentales permitió derivar conclusiones sobre el comportamiento del cultivo; el método deductivo, que orientó la formulación de las hipótesis a contrastar a partir del marco teórico; y el método estadístico, empleado en la organización, el procesamiento y la interpretación de los datos mediante el análisis de varianza y la comparación de medias.

9.5. Técnicas e instrumentos

La técnica principal fue la observación directa y la medición en campo de las variables agronómicas durante el ciclo del cultivo, complementada con el registro documental de las labores agronómicas. Los instrumentos correspondieron a las fichas de registro de datos diseñadas para cada variable, en las que se anotaron las mediciones por unidad experimental y por planta evaluada, y al cuaderno de campo donde se documentaron las labores culturales y las incidencias del ensayo.

9.6. Factores en estudio

El estudio consideró dos factores. El factor A correspondió al sistema de siembra y estuvo conformado por dos niveles: con acolchado y sin acolchado. El factor B correspondió a los niveles nominales del bioestimulante Evergreen: 0, 2, 4 y 6 mL.

Factor A: sistema de siembra. A1 = con acolchado; A2 = sin acolchado.

Factor B: dosis de Evergreen. B1 = 0 mL; B2 = 2 mL; B3 = 4 mL; B4 = 6 mL.

9.7. Tratamientos

La combinación de los dos niveles del factor A con los cuatro niveles del factor B dio origen a ocho tratamientos, conformados por cuatro tratamientos con acolchado y cuatro tratamientos sin acolchado, tal como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2.
Descripción de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Sistema de siembra (Factor A)	Dosis de Evergreen (Factor B)
T1	Con acolchado	0 mL
T2	Con acolchado	2 mL
T3	Con acolchado	4 mL
T4	Con acolchado	6 mL
T5	Sin acolchado	0 mL
T6	Sin acolchado	2 mL
T7	Sin acolchado	4 mL
T8	Sin acolchado	6 mL

9.8. Diseño experimental y modelo estadístico

El ensayo se estableció bajo un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones y un arreglo factorial de 2 × 4. En este tipo de diseño, el factor que requiere una unidad experimental de mayor tamaño se asigna a las parcelas principales, mientras que el segundo factor se distribuye en las subparcelas; asimismo, cada factor se evalúa mediante el término de error correspondiente a su nivel de aleatorización (Montgomery, 2013).

El factor A correspondió al sistema de siembra y se asignó a las parcelas principales, con dos niveles: con acolchado y sin acolchado. El factor B correspondió a los niveles del bioestimulante Evergreen y se asignó a las subparcelas, con cuatro niveles nominales: 0, 2, 4 y 6 mL de producto. La combinación de ambos factores originó ocho tratamientos, los cuales fueron evaluados en cada una de las tres repeticiones, dando un total de 24 unidades experimentales de subparcela.

Los registros obtenidos en las plantas evaluadas se organizaron de acuerdo con el tratamiento y la repetición correspondiente. Para el procesamiento estadístico se utilizaron los valores promedio de las plantas asignadas a cada repetición, de manera que las plantas individuales se consideraron unidades de observación dentro de cada unidad experimental y no repeticiones independientes.

El modelo lineal utilizado para representar el diseño de parcelas divididas fue el siguiente, de acuerdo con la estructura propuesta por Montgomery (2013):

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + A_j + (RA)_{ij} + B_k + (AB)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$donde:

- Y_{ijk}: valor observado de la variable de respuesta en la i-ésima repetición, el j-ésimo nivel del sistema de siembra y el k-ésimo nivel de Evergreen.
- μ**:** media general del experimento.

- R_i**:** efecto de la i-ésima repetición.
- A_j**:** efecto del j-ésimo nivel del factor A, correspondiente al sistema de siembra.
- $(RA)_{ij}$: error experimental de la parcela principal, correspondiente a la interacción entre la repetición y el factor A.
- B_k: efecto del k-ésimo nivel del factor B, correspondiente a los niveles de Evergreen.
- $(AB)_{jk}$: efecto de la interacción entre el sistema de siembra y los niveles de Evergreen.
- ε_{ijk}: error experimental asociado a las subparcelas.

La estructura del análisis de varianza aplicado a las 24 unidades de subparcela, correspondientes a ocho combinaciones de tratamiento evaluadas en tres repeticiones, se presenta en la Tabla 3. Las 80 plantas constituyeron unidades de observación originales y no repeticiones experimentales independientes. El modelo contempló dos términos de error: el efecto del sistema de siembra se evaluó mediante el error de la parcela principal, representado por la interacción entre las repeticiones y el factor A; mientras que el efecto de los niveles de Evergreen y la interacción entre ambos factores se evaluaron mediante el error correspondiente a las subparcelas.

Tabla 3.

Esquema del análisis de varianza para el diseño de parcelas divididas

Fuente de variación	Grados de libertad
Repeticiones	2
Factor A: sistema de siembra	1
Error de parcela principal: Repetición × A	2
Factor B: niveles de Evergreen	3
Interacción A × B	3
Error de subparcela	12
Total	**23**

*Nota***.** Elaboración propia con base en un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones, dos niveles del factor A y cuatro niveles del factor B, según Montgomery (2013).

9.9. Características de la unidad experimental

El ensayo estuvo conformado por ocho tratamientos, resultantes de la combinación de los dos sistemas de siembra con los cuatro niveles de Evergreen. Cada tratamiento se evaluó en tres repeticiones, lo que dio un total de 24 unidades experimentales de subparcela.

El cultivo se estableció en 18 camas de 13 m de longitud y 0,60 m de ancho, que en conjunto ocuparon una superficie física de 140,4 m². Esta superficie comprendió el área general utilizada para el montaje del experimento dentro del invernadero.

En cada tratamiento se registraron diez plantas, organizadas para el procesamiento de los datos de la siguiente manera: la repetición 1 comprendió las plantas 1, 2 y 3; la repetición 2, las plantas 4, 5 y 6; y la repetición 3, las plantas 7, 8, 9 y 10. Las plantas evaluadas constituyeron unidades de observación dentro de cada unidad experimental; por tanto, para el análisis estadístico se empleó el valor promedio correspondiente a cada repetición y no cada planta como una repetición independiente.

Las parcelas principales correspondieron a los sistemas de siembra, con acolchado y sin acolchado, mientras que las subparcelas correspondieron a los cuatro niveles de Evergreen establecidos dentro de cada parcela principal. La distribución espacial de las parcelas principales y subparcelas correspondió a la organización establecida durante el montaje del ensayo.

9.10. Variables evaluadas y su operacionalización

Las variables de respuesta se registraron en las plantas evaluadas de cada tratamiento y repetición durante el desarrollo del cultivo y en las fechas de cosecha. Para caracterizar el crecimiento y el desarrollo de las plantas se evaluaron la altura de planta, el diámetro de tallo, el número de flores y el número de frutos. Como variables productivas se registraron el peso y la circunferencia ecuatorial de los frutos cosechados.

Los frutos recolectados se pesaron individualmente y se agruparon de acuerdo con el sistema de siembra, la dosis de Evergreen y la repetición correspondiente. La suma de estos registros permitió determinar el peso acumulado de la cosecha en cada unidad experimental. Debido a que las repeticiones no estuvieron conformadas por el mismo número de plantas evaluadas, también se calculó el peso promedio cosechado por planta, con la finalidad de disponer de un indicador proporcional para la comparación de los tratamientos.

La producción por unidad de superficie se estimó a partir del peso acumulado durante las fechas de cosecha registradas y del área ocupada por las camas experimentales. Para expresar este resultado en kilogramos por hectárea se utilizó la siguiente ecuación:

$$R = (P_t / A_t) \times 10\,000$$

donde:

- R representa el rendimiento estimado, expresado en kg/ha;

- P_t corresponde al peso acumulado de los frutos registrados durante el periodo de cosecha, expresado en kg;
- A_t corresponde a la superficie ocupada por las camas experimentales, expresada en m^2;
- 10 000 representa la superficie de una hectárea en metros cuadrados.

El valor obtenido en kilogramos por hectárea se convirtió posteriormente a toneladas por hectárea mediante la siguiente relación:

$$R\ (t/ha) = R\ (kg/ha)\ /\ 1\ 000$$

Este procedimiento se utilizó para estimar descriptivamente el rendimiento general del experimento durante las cosechas documentadas. Debido a que la distribución exacta de la superficie entre tratamientos y repeticiones no quedó plenamente diferenciada, no se calcularon valores independientes en kg/ha para las ocho combinaciones. Las comparaciones inferenciales se mantuvieron con la matriz y las variables procesadas en InfoStat.

Tabla 4.
Operacionalización de las variables agronómicas y productivas evaluadas.

Variable	Unidad	Forma de medición o cálculo	Momento de registro
Altura de planta	cm	Distancia desde la base del tallo hasta el ápice de la planta	Evaluaciones periódicas durante el desarrollo del cultivo
Diámetro de tallo	cm	Medición del grosor del tallo mediante calibrador	Evaluaciones periódicas durante el desarrollo del cultivo
Número de flores	unidad	Conteo directo de flores presentes en cada planta	Evaluaciones periódicas durante la floración
Número de frutos	unidad	Conteo directo de frutos presentes en cada planta	Evaluaciones periódicas durante la fructificación
Peso del fruto	g	Pesaje individual de los frutos recolectados mediante balanza	En cada fecha de cosecha
Circunferencia ecuatorial del fruto	cm	Medición del contorno ecuatorial	En cada fecha de cosecha
Peso acumulado de cosecha	g por repetición	Suma del peso de los frutos cosechados en cada tratamiento y repetición	Al finalizar el periodo de cosecha registrado

Variable	Unidad	Forma de medición o cálculo	Momento de registro
Rendimiento promedio por planta	g/planta	División del peso acumulado de cosecha entre el número de plantas consideradas en cada repetición	Al finalizar el periodo de cosecha registrado
Rendimiento estimado	kg/ha y t/ha	Relación entre el peso acumulado de la cosecha y el área útil de la unidad experimental, multiplicada por 10 000 m²	Al finalizar el periodo de cosecha registrado

Nota. Elaboración propia

9.11. Manejo del ensayo

El manejo agronómico del cultivo comprendió la preparación del suelo, la instalación del acolchado en las parcelas principales correspondientes al nivel A1, el trasplante de las plántulas, el riego, la fertilización base, el tutorado, la poda de brotes axilares y el control fitosanitario preventivo. Estas labores se realizaron de manera uniforme en todas las unidades experimentales, excepto en los componentes que diferenciaron los tratamientos, correspondientes al sistema de siembra y a los niveles del bioestimulante Evergreen, conforme a las prácticas generales de manejo del tomate bajo invernadero descritas por Jaramillo et al. (2007).

El bioestimulante Evergreen se aplicó de acuerdo con los cuatro niveles nominales establecidos para el factor B: 0, 2, 4 y 6 mL de producto. El nivel 0 correspondió al tratamiento testigo, en el cual no se aplicó el bioestimulante. En las demás unidades experimentales, el producto se administró conforme al nivel asignado a cada subparcela, manteniéndose constantes las demás condiciones de manejo para evitar que factores distintos de los estudiados influyeran en la respuesta del cultivo.

9.12. Análisis estadístico

Los datos se organizaron de acuerdo con el sistema de siembra, el nivel de Evergreen y la repetición correspondiente, y se procesaron mediante el programa InfoStat. Para cada unidad experimental se utilizó el promedio de las plantas evaluadas dentro de la repetición, debido a que las plantas individuales constituyeron unidades de observación y no repeticiones experimentales independientes.

Para cada variable de respuesta se aplicó un análisis de varianza de acuerdo con la estructura del diseño de parcelas divididas. El efecto del sistema de siembra, correspondiente al factor A, se evaluó mediante el error de la parcela principal, representado por la interacción entre la

repetición y el sistema de siembra. El efecto de los niveles de Evergreen, correspondiente al factor B, y la interacción entre el sistema de siembra y los niveles de Evergreen se evaluaron mediante el error asociado a las subparcelas.

Las variables registradas en diferentes momentos del desarrollo del cultivo se analizaron de manera independiente para cada fecha de evaluación. Además, su comportamiento temporal se presentó mediante tablas y gráficos de medias, con la finalidad de describir la evolución de las plantas durante el periodo experimental.

Cuando el análisis de varianza determinó diferencias estadísticas significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significación del 5 %. Los resultados se presentaron mediante medias, error estándar, coeficiente de variación, valores de F y valores de probabilidad.

9.13. Tratamiento de los datos de cosecha

Los registros de cosecha se organizaron según el sistema de siembra, la dosis de Evergreen, la planta, la repetición y la fecha de recolección. La base bruta estuvo conformada por 468 registros individuales de frutos, distribuidos en cinco fechas. La suma de los pesos permitió establecer la producción acumulada del experimento durante el periodo documentado.

Para expresar esta producción en función de la superficie, el peso acumulado se relacionó con los 140,4 m² ocupados por las 18 camas. El resultado, inicialmente obtenido en kg/m², se extrapoló a una hectárea y luego se convirtió a t/ha. Este cálculo tuvo un carácter descriptivo y se mantuvo separado del análisis de varianza.

La comparación estadística de los factores se efectuó con la matriz definitiva preparada para el diseño de parcelas divididas. En dicha matriz, los registros individuales de los frutos se agruparon previamente de acuerdo con las unidades experimentales consideradas en el análisis. Por ello, las 468 observaciones de la base bruta y los registros utilizados en el ANOVA corresponden a niveles distintos de organización de la información y no constituyen resultados contradictorios.

Cuando una combinación contó con menos observaciones, el desbalance se conservó y se declaró durante la interpretación. La recuperación del peso acumulado no modificó los valores de F, los valores de p, las comparaciones de Tukey ni los términos de error empleados en InfoStat.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis se organizó en dos componentes. El primero correspondió al seguimiento agronómico realizado durante el ciclo del cultivo, mediante evaluaciones efectuadas a los 8, 15,

21, 42, 56, 63, 70, 77 y 112 días después del trasplante. El segundo comprendió las variables de cosecha: peso total de frutos por repetición y circunferencia ecuatorial promedio del fruto. Las variables temporales y la evaluación final a los 112 días se analizaron a partir de 24 unidades experimentales. Para las variables de cosecha se dispuso de 23 registros, debido a que una combinación de tratamiento estuvo representada por dos registros y las demás por tres.

En todas las evaluaciones se mantuvo la estructura del diseño de parcelas divididas. El sistema de siembra constituyó el factor de parcela principal; por ello, su efecto se contrastó mediante la interacción repetición × sistema de siembra. Los niveles de Evergreen y la interacción entre ambos factores se evaluaron con el error residual de subparcela. Se consideraron diferencias estadísticas cuando $p < 0,05$. Los códigos T0, T1, T2 y T3 correspondieron, respectivamente, a 0, 2, 4 y 6 mL de Evergreen.

10.1. Altura de planta

La altura aumentó progresivamente en ambos sistemas de siembra. Durante el establecimiento se observó una separación inicial entre las curvas, seguida de aproximaciones y cruces en las evaluaciones intermedias. Al final del periodo, los promedios generales fueron cercanos: 151,67 cm con acolchado y 154,06 cm sin acolchado.

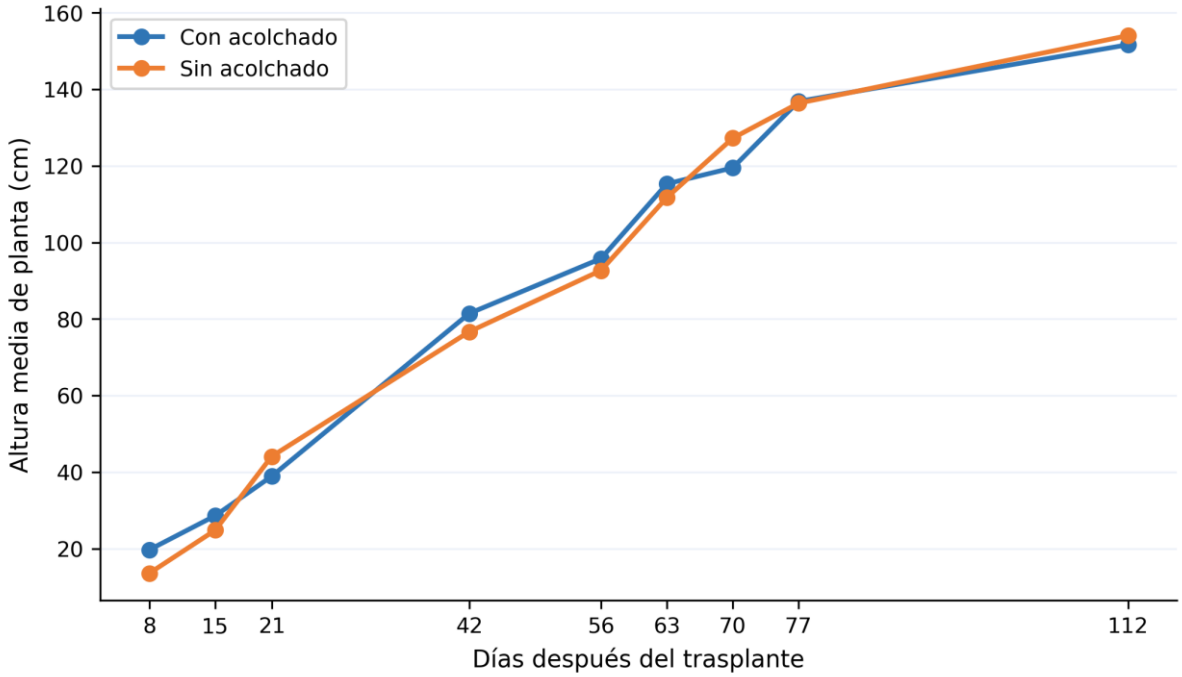
Tabla 5.

Altura media de planta según el sistema de siembra y la fecha de evaluación

Día	Con acolchado (cm)	Sin acolchado (cm)
8	19,71	13,58
15	28,61	24,83
21	38,92	44,11
42	81,46	76,69
56	95,80	92,70
63	115,33	111,75
70	119,51	127,25
77	136,88	136,40
112	151,67	154,06

Nota. Medias generales por sistema de siembra. Los valores correspondientes a los 8, 15, 21, 42, 56, 63, 70 y 77 días se obtuvieron de los análisis realizados para cada fecha; los valores de 112 días corresponden a la evaluación final.

Figura 1.
Evolución de la altura media de planta según el sistema de siembra



Nota. Las líneas representan los promedios por sistema de siembra en cada fecha de evaluación.

El efecto del sistema de siembra fue significativo únicamente a los 8 días (p = 0,008), cuando las plantas con acolchado alcanzaron 19,71 cm y las plantas sin acolchado 13,58 cm. En esa fecha, Evergreen también presentó diferencias (p = 0,0120) y la interacción sistema × dosis fue significativa (p = 0,0063). La combinación con acolchado y 4 mL alcanzó la mayor media, 26,22 cm; las demás quedaron en los grupos inferior o intermedio.

En las mediciones siguientes, la diferencia entre sistemas dejó de ser significativa. Evergreen volvió a mostrar un efecto a los 70 días (p = 0,0451), pero sin un orden creciente: 0 mL alcanzó 135,51 cm y 6 mL, 107,87 cm. A los 42 días, p = 0,0512 no fue significativo al 5 %. A los 112 días tampoco hubo diferencias entre los factores ni en su interacción.

Tabla 6.
Resultados del análisis de varianza de la altura de planta en cada fecha evaluada

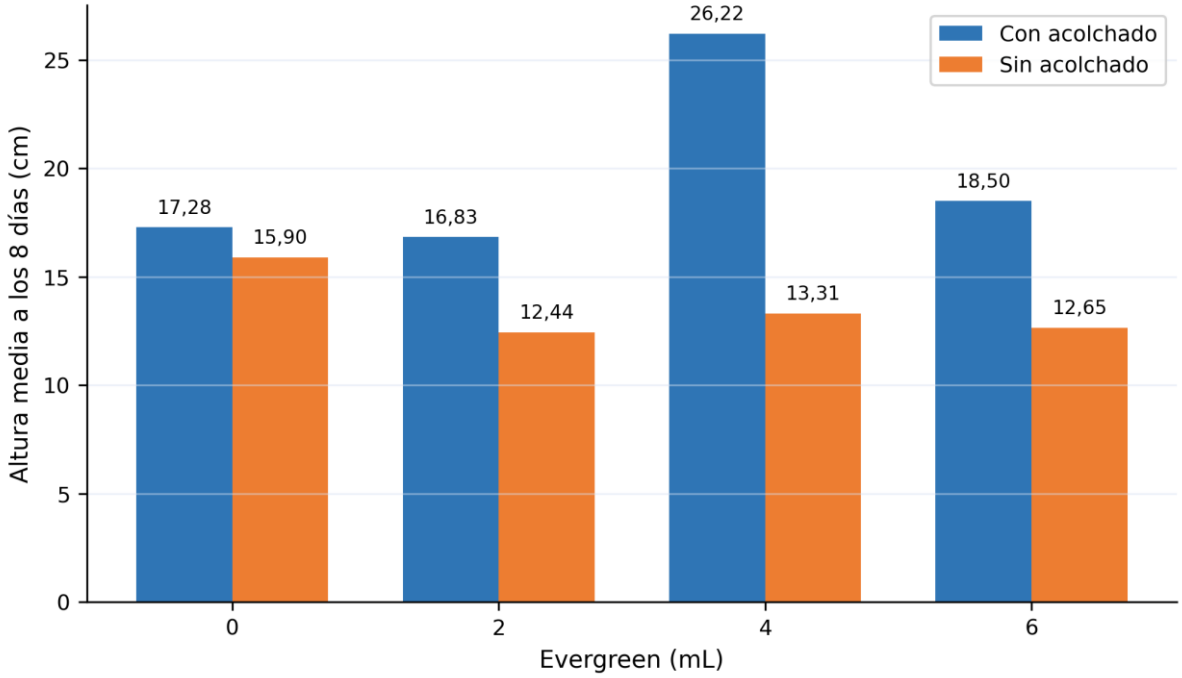
Día	Sistema p	Evergreen p	A × B p	Interpretación
8	0,008**	0,0120*	0,0063**	Efectos de los dos factores e interacción
15	0,462	0,8772	0,7658	Sin diferencias
21	0,795	0,3711	0,3221	Sin diferencias

Día	Sistema p	Evergreen p	A × B p	Interpretación
42	0,593	0,0512	0,2103	Sin diferencias al 5 %
56	0,652	0,2167	0,1352	Sin diferencias
63	0,394	0,4430	0,1056	Sin diferencias
70	0,389	0,0451*	0,2114	Efecto puntual de Evergreen
77	0,949	0,1631	0,5983	Sin diferencias
112	0,952	0,5174	0,2458	Sin diferencias

Nota. El efecto del sistema de siembra se contrastó con el error de la parcela principal. Para Evergreen y la interacción se conservaron los valores obtenidos en InfoStat. * p < 0,05; ** p < 0,01.

Figura 2.

Altura de las plantas a los 8 días en cada combinación de sistema de siembra y Evergreen



Nota. A los 8 días, la mayor altura media se registró con acolchado y 4 mL de Evergreen.

El mayor crecimiento inicial bajo acolchado puede asociarse con las condiciones creadas alrededor de las raíces. Tarara (2000) explica que la película plástica modifica el intercambio de humedad y energía entre el suelo y la atmósfera. En tomate, Díaz-Pérez y Batal (2002) observaron que estos cambios pueden reflejarse en el crecimiento cuando la temperatura de la zona radicular se mantiene dentro de un intervalo favorable. En el presente ensayo, la diferencia desapareció conforme avanzó el ciclo, por lo que el efecto fue temporal. Evergreen tampoco produjo una respuesta creciente: la dosis más alta no generó siempre las plantas de mayor altura.

Este comportamiento es compatible con lo señalado por Yakhin et al. (2017), quienes indican que la respuesta depende de la dosis, el ambiente y el estado fisiológico del cultivo.

10.2. Diámetro de tallo

El diámetro del tallo varió entre fechas, pero no mantuvo diferencias entre los sistemas de siembra. Con el error de parcela principal, el acolchado no fue significativo en ninguna evaluación. Evergreen presentó efectos a los 15, 56 y 112 días. La interacción fue significativa a los 56 y 112 días, lo que indica que la respuesta a las dosis dependió del sistema.

Tabla 7.
Análisis de varianza del diámetro de tallo durante el periodo de evaluación

Día	Sistema p	Evergreen p	A × B p	Interpretación
8	0,085	0,8449	0,0835	Sin diferencias al 5 %
15	0,932	0,0295*	0,9436	Efecto de Evergreen
21	0,418	0,4218	0,4281	No significativo; alta dispersión
42	0,553	0,5246	0,9620	Sin efecto significativo
56	0,931	0,0204*	0,0314*	Efecto de Evergreen e interacción
63	0,910	0,7788	0,9982	Sin efecto significativo
70	0,667	0,0671	0,5465	No significativo al 5 %
77	0,184	0,9574	0,3346	Sin efecto significativo
112	0,880	0,0205*	0,0205*	Efecto de Evergreen e interacción

Nota. La evaluación de 21 días presentó un coeficiente de variación de 147,66 %, por lo que sus medias deben interpretarse con cautela. * $p < 0,05$.

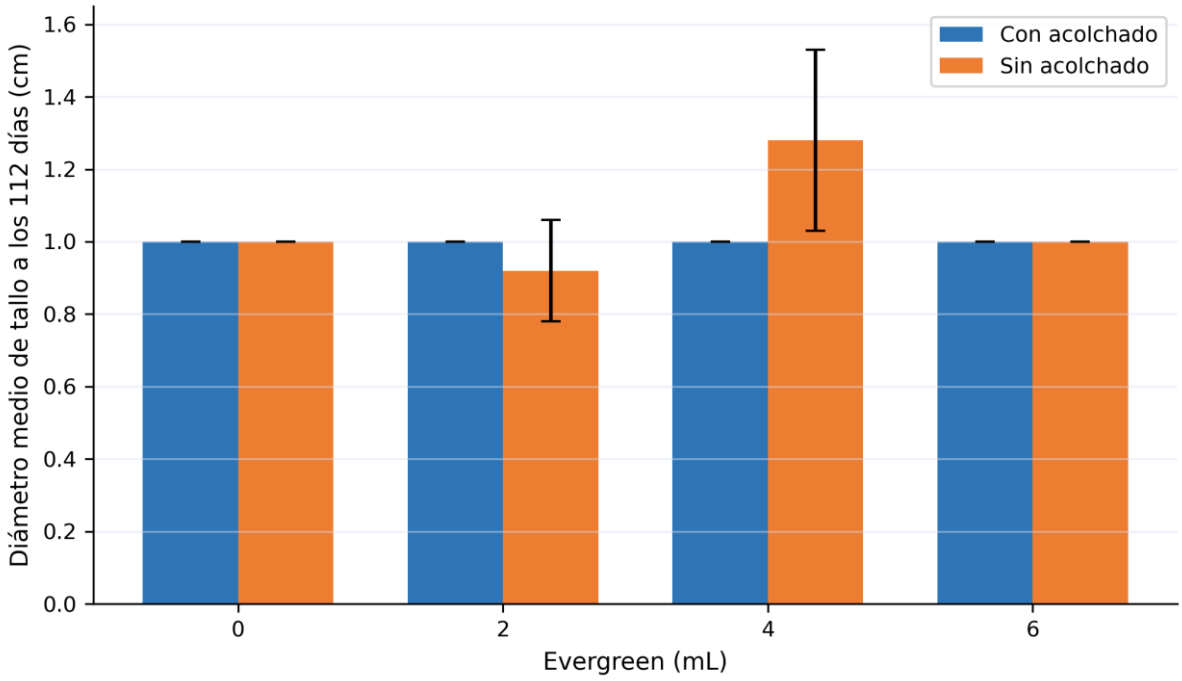
A los 15 días, la comparación de medias ubicó al nivel de 0 mL en el grupo inferior (0,59 cm) y al nivel de 4 mL en el grupo superior (0,79 cm), mientras que 2 y 6 mL ocuparon posiciones intermedias. A los 56 días, el nivel de 0 mL registró 0,86 cm y superó al nivel de 6 mL, con 0,66 cm; además, la interacción mostró que la respuesta dependió de la combinación con el sistema de siembra. Estos resultados no describieron un incremento proporcional del diámetro conforme aumentó Evergreen.

Tabla 8.
Valores finales de las variables agronómicas por sistema de siembra y nivel de Evergreen

Sistema	Evergreen (mL)	Altura (cm)	Tallo (cm)	Flores	Frutos
Con acolchado	0	170,94 ± 29,67	1,00 ± 0,00	2,08 ± 0,36	9,36 ± 2,23
Con acolchado	2	146,69 ± 8,64	1,00 ± 0,00	0,61 ± 0,67	8,31 ± 3,81
Con acolchado	4	153,22 ± 6,00	1,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	7,22 ± 0,69
Con acolchado	6	135,81 ± 6,99	1,00 ± 0,00	0,33 ± 0,58	5,69 ± 0,96
Sin acolchado	0	140,69 ± 23,40	1,00 ± 0,00	0,94 ± 1,23	7,11 ± 0,84
Sin acolchado	2	149,17 ± 49,12	0,92 ± 0,14	1,25 ± 1,56	9,81 ± 1,13
Sin acolchado	4	172,78 ± 26,58	1,28 ± 0,25	4,03 ± 3,51	11,11 ± 1,54
Sin acolchado	6	153,61 ± 14,05	1,00 ± 0,00	0,11 ± 0,19	8,47 ± 2,79

Nota. Valores expresados como media ± desviación estándar de tres repeticiones en la evaluación final de 112 días.

Figura 3.
Diámetro medio de tallo a los 112 días según el sistema de siembra y Evergreen



Nota. Las barras representan las medias de tres repeticiones; las líneas verticales corresponden a la desviación estándar disponible.

A los 112 días, la mayor media se registró sin acolchado y con 4 mL (1,28 cm); la menor correspondió a sin acolchado y 2 mL (0,92 cm). Con acolchado, las cuatro medias fueron de 1,00 cm. El ANOVA mostró efectos de Evergreen y de la interacción, pero no se contó con una comparación múltiple de las ocho combinaciones. Por ello, los valores se interpretan de forma descriptiva y no demuestran la superioridad estadística de un tratamiento.

La respuesta irregular del diámetro de tallo concuerda con Ortiz Camas (2025), quien observó que los bioestimulantes no modifican de manera uniforme todas las variables estructurales del tomate. En este estudio, los efectos se concentraron en fechas particulares y dependieron del sistema de siembra, lo que impide interpretar Evergreen como un estímulo permanente del engrosamiento del tallo.

10.3. Número de flores

Entre los 21 y 77 días, el sistema de siembra, los niveles de Evergreen y su interacción no produjeron diferencias significativas en el número de flores. En la evaluación final de 112 días, los efectos principales continuaron siendo no significativos; sin embargo, la interacción alcanzó significación estadística ($F = 3,67$; $p = 0,0438$). La mayor media descriptiva se registró sin acolchado y con 4 mL, con 4,03 flores, mientras que con acolchado y el mismo nivel se obtuvo 0,00.

Tabla 9.

Comparación de Tukey para el número de flores a los 112 días

Sistema de siembra	Evergreen (mL)	Media	Grupo
Con acolchado	4	0,00	A
Sin acolchado	6	0,11	A
Con acolchado	6	0,33	A
Con acolchado	2	0,61	A
Sin acolchado	0	0,94	A
Sin acolchado	2	1,25	A
Con acolchado	0	2,08	A
Sin acolchado	4	4,03	A

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Error = 2,0778; gl = 12; DMS = 4,25992; CV = 123,19 %.

Aunque el ANOVA detectó una interacción global, Tukey no separó parejas específicas, dado que todas las combinaciones compartieron la letra A. La elevada variabilidad y la presencia de medias próximas a cero redujeron la precisión de las comparaciones. Por esta razón, la combinación sin acolchado y 4 mL no puede considerarse superior, aun cuando presentó la media numérica más alta.

La diferencia entre combinaciones puede relacionarse con el estado fenológico alcanzado al momento del conteo. Las flores visibles disminuyen cuando avanzan hacia el cuajado o cuando se produce aborto floral. Yakhin et al. (2017) señalan que la respuesta a un bioestimulante puede cambiar con la etapa fisiológica de la planta. A ello se suma la influencia de las condiciones de manejo, destacada por Rouphael y Colla (2020). Como la interacción apareció únicamente en la evaluación final, no constituye una ventaja general de una dosis.

10.4. Número de frutos

El conteo de frutos aumentó desde la primera evaluación reproductiva hasta los 70 y 77 días. En ninguna fecha se comprobaron efectos del sistema de siembra, de Evergreen o de la interacción. A los 112 días, la combinación sin acolchado y 4 mL presentó la mayor media, con 11,11 frutos; el menor valor correspondió al tratamiento con acolchado y 6 mL, con 5,69 frutos. Aunque la diferencia numérica fue visible, la interacción alcanzó p = 0,0808 y no fue significativa al nivel de 0,05.

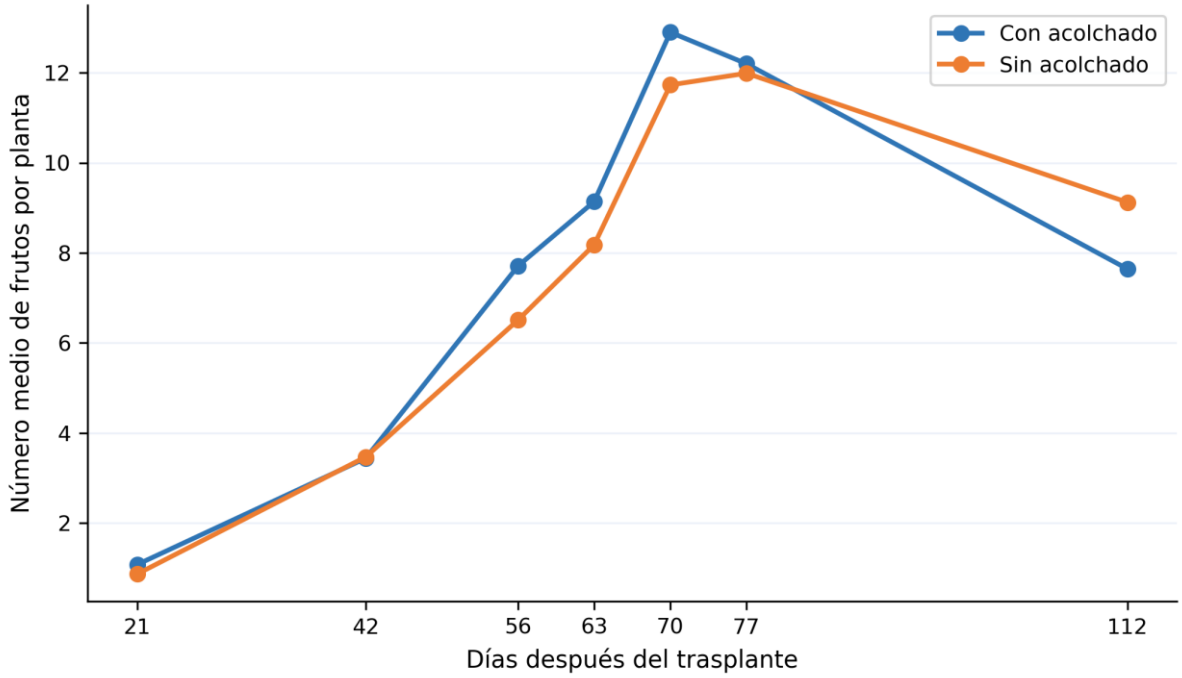
Tabla 10.

Resultados del análisis de varianza del número de frutos en las fechas evaluadas

Día	Sistema p	Evergreen p	A × B p	Interpretación
21	0,436	0,9629	0,9737	Sin diferencias
42	0,977	0,8033	0,7419	Sin diferencias
56	0,286	0,3504	0,4188	Sin diferencias
63	0,173	0,4384	0,4607	Sin diferencias
70	0,614	0,2882	0,8692	Sin diferencias
77	0,928	0,8072	0,5163	Sin diferencias
112	0,712	0,2673	0,0808	Sin diferencias al 5 %

Nota. La significación del sistema de siembra se determinó con el error correspondiente a la parcela principal.

Figura 4.
Número medio de frutos presentes por planta durante el periodo de evaluación



Nota. La gráfica muestra los frutos presentes en cada fecha. La disminución registrada a los 112 días puede estar relacionada con el retiro de frutos durante la cosecha; por ello, los valores no representan el rendimiento acumulado.

Las medias variaron entre tratamientos, pero no formaron un patrón estadístico estable. Con acolchado, el valor final disminuyó al aumentar la dosis; sin cobertura, la mayor media se obtuvo con 4 mL. Estas tendencias no demostraron una respuesta diferencial ni un incremento continuo con Evergreen. Du Jardin (2015) advierte que los bioestimulantes no actúan necesariamente mediante relaciones lineales de dosis y respuesta. Además, el estado del cultivo y las condiciones de manejo pueden modificar el efecto observado, como indican Yakhin et al. (2017).

10.5. Resultados de cosecha

La información de cosecha se examinó desde dos perspectivas. Primero se determinó la producción acumulada del experimento a partir de los registros individuales de la base bruta. Posteriormente, se analizaron el peso registrado por repetición y la circunferencia ecuatorial promedio del fruto mediante la estructura estadística de parcelas divididas.

En las cinco fechas incluidas en la base se contabilizaron 468 frutos, cuyo peso acumulado fue de 45,068 kg. Las 18 camas utilizadas en el ensayo midieron 13 m de longitud y 0,60 m de ancho, por lo que ocuparon en conjunto una superficie de 140,4 m². A partir de estos valores, la producción por unidad de superficie fue:

$$45{,}068 \text{ kg} / 140{,}4 \text{ m}^2 = 0{,}321 \text{ kg/m}^2$$

La extrapolación a una hectárea se obtuvo mediante la siguiente operación:

$$0{,}321 \text{ kg/m}^2 \times 10\,000 \text{ m}^2 = 3\,209{,}97 \text{ kg/ha}$$

El rendimiento general estimado fue, por tanto, de 3,21 t/ha para el periodo de cosecha documentado. Este valor describe la producción conjunta de las camas y no constituye una media sometida al análisis de varianza. Su alcance también depende de que las cinco fechas registradas correspondan a la totalidad de las cosechas realizadas durante el ensayo.

La evaluación inferencial se desarrolló de manera independiente. El efecto del sistema de siembra se contrastó mediante el error de la parcela principal, representado por la interacción repetición × sistema de siembra. Evergreen y la interacción entre los factores se evaluaron mediante el error residual de las subparcelas. Esta separación impidió que el rendimiento general fuera interpretado como si representara un tratamiento o una repetición independiente.

Tabla 11.

Comparación de las variables de cosecha entre sistemas de siembra

Variable	Con acolchado (M ± EE)	Sin acolchado (M ± EE)	F	p	Decisión
Peso total por repetición (g)	648,58 ± 66,58	299,94 ± 71,91	24,02	0,039*	Diferencia significativa
Circunferencia ecuatorial promedio del fruto (cm)	20,27 ± 0,46	18,89 ± 0,49	1,91	0,300	Sin diferencia principal

Nota. El estadístico F del sistema de siembra se calculó mediante la razón entre el cuadrado medio del sistema de siembra y el cuadrado medio de la interacción repetición × sistema de siembra, con gl = 1 y 2. * $p < 0{,}05$. La circunferencia ecuatorial promedio del fruto se expresó en centímetros.

El sistema de siembra influyó en el peso total de los frutos cosechados. Las unidades experimentales con acolchado alcanzaron una media de 648,58 g por repetición, mientras que aquellas establecidas sin cobertura registraron 299,94 g. La diferencia fue estadísticamente significativa ($F = 24{,}02$; $p = 0{,}039$), por lo que el efecto productivo más claro del ensayo estuvo asociado con la presencia del acolchado.

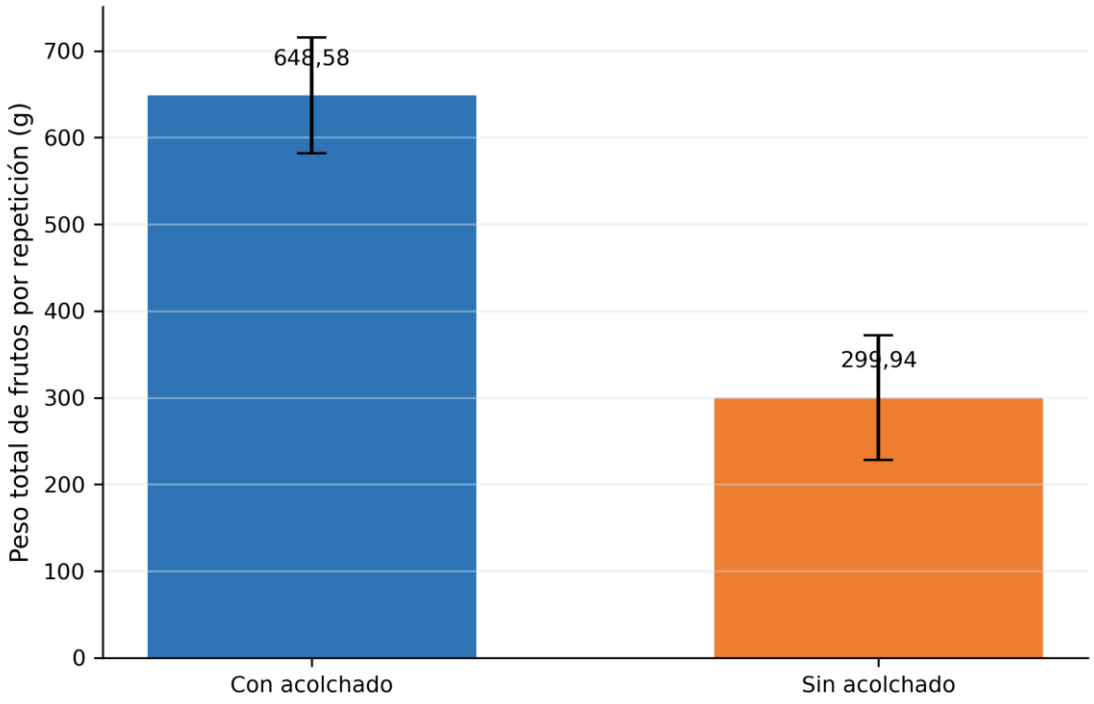
Al examinar las ocho combinaciones, la mayor media numérica correspondió al tratamiento con acolchado y 0 mL de Evergreen, con 766,67 g por repetición. A continuación se ubicaron las combinaciones con acolchado y 2 mL, con 688,67 g, y con acolchado y 6 mL, con 642,33 g. En el extremo inferior, el sistema sin acolchado y 4 mL presentó 204,44 g.

Estas diferencias numéricas no fueron suficientes para establecer la superioridad estadística de una combinación específica. Evergreen no produjo un efecto principal significativo sobre el peso (p = 0,5805), y tampoco se comprobó interacción entre la dosis y el sistema de siembra (p = 0,9014). Además, las ocho combinaciones compartieron el mismo grupo en la prueba de Tukey.

En consecuencia, el resultado no permite afirmar que 0 mL fuera una dosis superior ni que 4 mL redujera por sí sola la producción. Lo que sí puede sostenerse es que el sistema con acolchado presentó un mayor peso medio de cosecha y que las dosis crecientes de Evergreen no siguieron un patrón productivo uniforme. El coeficiente de variación fue de 46,83 %, valor que refleja una dispersión considerable entre las unidades experimentales; por ello, las medias de cada combinación deben interpretarse junto con el análisis de varianza.

Figura 5.

Peso total de frutos por repetición según el sistema de siembra



Nota. Las barras representan las medias y las líneas verticales el error estándar.

El mayor peso registrado bajo acolchado coincide con la función de la cobertura descrita por Lamont (2005), quien relaciona su uso con la modificación del microclima del suelo. Kader et al. (2017) añaden que la reducción de la evaporación puede contribuir a mantener una disponibilidad de agua más estable. A diferencia de las variables vegetativas intermedias, la respuesta productiva del ensayo se expresó con mayor claridad durante el llenado y la cosecha de los frutos.

Tabla 12.
Resumen del análisis de varianza de las variables finales de cosecha

Variable	Sistema F (p)	Evergreen F (p)	A × B F (p)	CV (%)	Decisión
Peso total por repetición	24,02 (0,039)	0,68 (0,5805)	0,19 (0,9014)	46,83	Efecto del sistema
Circunferencia ecuatorial promedio	1,91 (0,300)	2,20 (0,1459)	6,46 (0,0088)	8,12	Interacción significativa

Nota. A × B: interacción entre el sistema de siembra y los niveles de Evergreen.

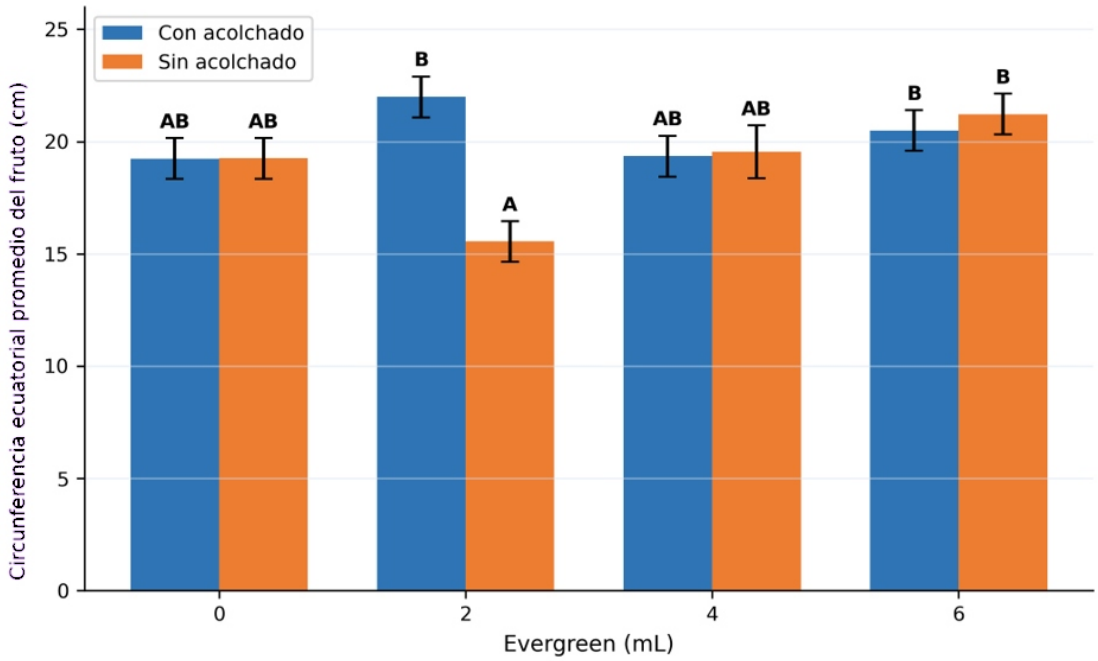
La circunferencia ecuatorial promedio del fruto no presentó diferencias por efecto principal del sistema de siembra (p = 0,300) ni de Evergreen (p = 0,1459). No obstante, la interacción fue significativa (F = 6,46; p = 0,0088), lo que indica que la respuesta a una misma dosis cambió según la presencia o ausencia del acolchado.

Tabla 13.
Comparación de Tukey para la circunferencia ecuatorial promedio del fruto

Sistema de siembra	Evergreen (mL)	Media (cm)	Grupo
Sin acolchado	2	15,55	A
Con acolchado	0	19,24	AB
Sin acolchado	0	19,25	AB
Con acolchado	4	19,35	AB
Sin acolchado	4	19,54	AB
Con acolchado	6	20,49	B
Sin acolchado	6	21,22	B
Con acolchado	2	21,99	B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05). Error = 2,5084; gl = 11; DMS = 4,90328. Una combinación de tratamiento estuvo representada por dos registros, mientras que las demás contaron con tres.

Figura 6.
Circunferencia ecuatorial promedio del fruto según el sistema de siembra y Evergreen



Nota. Las letras sobre las barras representan los grupos establecidos mediante la prueba de Tukey. La circunferencia ecuatorial promedio del fruto se expresa en centímetros.

La combinación con acolchado y 2 mL alcanzó 21,99 cm y se ubicó en el grupo B, mientras que sin acolchado y 2 mL registró 15,55 cm y conformó el grupo A. Las demás combinaciones fueron intermedias o compartieron el grupo superior. En consecuencia, 2 mL no produjo una respuesta uniforme: bajo acolchado se relacionó con una mayor medida del fruto y sin acolchado con el valor más bajo. El contraste observado con 2 mL muestra que esa dosis no puede recomendarse sin considerar la presencia o ausencia del acolchado.

10.6. Caracterización agronómica según el sistema de siembra

Las plantas establecidas con y sin acolchado presentaron diferencias principalmente durante las primeras etapas del cultivo y en el peso de la cosecha. A los 8 días después del trasplante, el sistema con cobertura alcanzó una altura media de 19,71 cm, frente a 13,58 cm sin acolchado. Esta ventaja inicial fue significativa, pero dejó de observarse en las evaluaciones posteriores.

Al finalizar el periodo de seguimiento, las alturas medias fueron similares: 151,67 cm con acolchado y 154,06 cm sin cobertura. El resultado indica que las plantas establecidas en suelo descubierto compensaron la diferencia observada durante el establecimiento y alcanzaron un desarrollo longitudinal comparable al sistema acolchado.

En el diámetro del tallo tampoco se comprobó una ventaja permanente de alguno de los sistemas. A los 112 días, las cuatro dosis evaluadas bajo acolchado registraron una media de 1,00 cm. Sin cobertura, los valores variaron entre 0,92 y 1,28 cm, dependiendo de la dosis de Evergreen. Debido a que existió interacción entre los factores, estas diferencias no deben atribuirse únicamente al sistema de siembra.

El comportamiento reproductivo fue igualmente variable. Con acolchado, las medias finales oscilaron entre 0,00 y 2,08 flores, y entre 5,69 y 9,36 frutos por planta. Sin acolchado, se registraron entre 0,11 y 4,03 flores y entre 7,11 y 11,11 frutos. Aunque algunas combinaciones presentaron valores numéricos mayores, el análisis no demostró un efecto principal sostenido del sistema sobre estas variables.

La principal diferencia entre los dos sistemas apareció en el componente productivo. El acolchado no generó plantas más altas o con mayor diámetro al finalizar el ensayo, pero sí estuvo relacionado con un mayor peso de la cosecha. En las condiciones evaluadas, la cobertura tuvo una expresión más clara sobre la producción obtenida que sobre las características morfológicas finales.

10.7. Análisis integrado de la respuesta a Evergreen

El análisis de todas las fechas y variables no mostró un aumento continuo con Evergreen. Las diferencias aparecieron en la altura a los 8 y 70 días y en el diámetro del tallo a los 15, 56 y 112 días, además de algunas interacciones con el sistema de siembra. En las demás evaluaciones no hubo efectos significativos. Por ello, una media alta en una fecha no implicó una respuesta estable durante el ciclo.

Los efectos más claros del sistema de siembra aparecieron al inicio y en la cosecha. Con acolchado, las plantas fueron más altas a los 8 días y el peso total por repetición fue mayor. En las etapas intermedias, las diferencias vegetativas se redujeron. La circunferencia ecuatorial respondió de otro modo: con 2 mL se obtuvo una media alta bajo acolchado y la menor media sin cobertura.

Por tanto, los promedios más altos de una fecha o variable no deben utilizarse de forma aislada para establecer una recomendación. La selección de una dosis requiere considerar simultáneamente el momento del ciclo, el sistema de siembra, la variable de interés, la estabilidad entre repeticiones y la respuesta productiva final.

10.8. Contrastación de la hipótesis

Tabla 14.
Decisión sobre las hipótesis estadísticas

Hipótesis	Variables consideradas	Evidencia	Decisión
Factor A: sistema de siembra	Altura temporal y variables de cosecha	Diferencias en altura a los 8 días (p = 0,008) y peso total de cosecha (p = 0,039); sin efecto sostenido en las demás evaluaciones.	H0 se rechazó para variables y momentos específicos.
Factor B: niveles de Evergreen	Altura y diámetro de tallo	Efectos en altura a los 8 y 70 días y en diámetro de tallo a los 15, 56 y 112 días; ausencia de respuesta uniforme en el resto.	H0 se rechazó para evaluaciones específicas.
Interacción A × B	Altura, tallo, flores y circunferencia ecuatorial del fruto	Significativa en altura a los 8 días, diámetro de tallo a los 56 y 112 días, flores a los 112 días y circunferencia ecuatorial del fruto en cosecha.	H0 se rechazó para variables específicas.

Nota. Las decisiones se establecieron con $\alpha = 0,05$. El rechazo parcial de una hipótesis no implica que el factor haya producido efectos en todas las variables o fechas.

La hipótesis nula asociada con el sistema de siembra no se rechazó de manera general para todo el comportamiento agronómico, pero sí para la altura inicial y el peso total de la cosecha. Esto significa que el acolchado produjo efectos comprobables en componentes específicos del ciclo y no una ventaja permanente en todas las variables.

La hipótesis nula correspondiente a Evergreen se rechazó en fechas particulares de altura y diámetro de tallo. No obstante, la falta de una respuesta creciente y la ausencia de diferencias en numerosas evaluaciones impiden sostener que el aumento de la dosis mejoró de forma general el comportamiento del cultivo.

La hipótesis nula de interacción se rechazó para variables específicas. El resultado más claro se observó en la circunferencia ecuatorial del fruto en cosecha, donde 2 mL produjo el mayor valor bajo acolchado y el menor sin acolchado. En consecuencia, la respuesta a Evergreen dependió del sistema de siembra, pero este comportamiento no se extendió a todas las variables evaluadas.

10.9. Síntesis de los resultados

La respuesta al acolchado fue más evidente durante el establecimiento y la cosecha. En la primera evaluación, las plantas cultivadas con cobertura alcanzaron una mayor altura, aunque la diferencia dejó de observarse conforme avanzó el ciclo. En el componente productivo, el sistema con acolchado presentó el mayor peso medio por repetición. Las cinco fechas de cosecha reunieron, además, una producción acumulada de 45,068 kg en los 140,4 m² ocupados por las camas, equivalente a un rendimiento general estimado de 3,21 t/ha para el periodo documentado. El sistema de siembra no produjo efectos principales sobre el número final de flores y frutos ni sobre la circunferencia ecuatorial promedio.

La respuesta a Evergreen cambió según la fecha y la variable evaluada. Se detectaron diferencias en algunas mediciones de altura y diámetro, pero las medias no aumentaron de forma ordenada entre 0, 2, 4 y 6 mL. La dosis más alta no fue siempre la de mejor comportamiento y, en determinados momentos, su efecto dependió del sistema de siembra.

No se identificó una dosis de Evergreen superior para todas las variables y ambos sistemas. La respuesta productiva más definida fue el mayor peso de la cosecha bajo acolchado. En la circunferencia del fruto, 2 mL produjo resultados opuestos según la presencia de cobertura, por lo que esa dosis no puede recomendarse de manera aislada.

11. DISCUSIÓN GENERAL

11.1. Comportamiento del cultivo bajo los dos sistemas de siembra

El efecto del acolchado no se manifestó con la misma intensidad durante todo el ciclo. Su influencia fue clara durante el establecimiento inicial: a los 8 días, las plantas cultivadas con cobertura presentaron mayor altura que aquellas establecidas sobre suelo descubierto. Sin embargo, esta diferencia se redujo en las mediciones siguientes y desapareció al final del periodo.

Una interpretación posible se relaciona con las condiciones generadas alrededor de las raíces. Tarara (2000) señaló que las películas plásticas modifican el intercambio de energía y humedad entre el suelo y la atmósfera. Esta modificación puede favorecer la etapa posterior al trasplante, cuando las plantas todavía cuentan con un sistema radicular limitado y son más sensibles a las variaciones del ambiente edáfico.

La respuesta observada también es compatible con lo descrito por Kader et al. (2017), quienes destacan que el acolchado reduce la pérdida de agua desde la superficie y contribuye a estabilizar las condiciones del suelo. En el presente ensayo, esta posible ventaja se expresó

inicialmente en la altura, aunque no produjo una diferencia permanente en el crecimiento longitudinal.

Al finalizar la evaluación, las plantas de ambos sistemas alcanzaron alturas similares. Tampoco se identificó un efecto principal sostenido sobre el diámetro del tallo, el número de flores o el número de frutos. Estos resultados muestran que la cobertura no modificó de manera general todas las características de la planta.

El comportamiento cambió cuando se examinó la cosecha. Las unidades con acolchado registraron 648,58 g por repetición, mientras que aquellas sin cobertura alcanzaron 299,94 g. La diferencia sugiere que el efecto del sistema de siembra se manifestó con mayor claridad en la fase productiva que en las mediciones vegetativas finales.

Díaz-Pérez y Batal (2002) relacionaron el comportamiento del tomate bajo acolchado con los cambios que se producen en la temperatura de la zona radicular. En condiciones favorables, esta regulación puede influir en la disponibilidad de recursos durante el crecimiento y el llenado de los frutos. El resultado obtenido en Cotopaxi coincide con esa orientación general, aunque el ensayo no incluyó mediciones directas de temperatura o humedad del suelo.

También se han registrado incrementos productivos en tomate cultivado bajo invernadero con diferentes coberturas plásticas. García-León et al. (2018) comprobaron que la respuesta dependió del tipo de acolchado empleado y de las condiciones del cultivo. Por tanto, el mayor peso registrado en el presente estudio debe interpretarse como un resultado propio del sistema y del ciclo evaluado, no como una respuesta aplicable automáticamente a cualquier condición productiva.

11.2. Respuesta a las dosis de Evergreen

Los efectos de Evergreen aparecieron en momentos determinados, pero no formaron una secuencia creciente entre 0, 2, 4 y 6 mL. En algunas evaluaciones, las dosis intermedias produjeron medias elevadas; en otras, los valores más altos correspondieron al testigo sin aplicación. Esta variación impide interpretar el producto mediante una relación simple entre mayor dosis y mayor crecimiento.

A los 8 días, la combinación con acolchado y 4 mL alcanzó la mayor altura. No obstante, a los 70 días, el nivel de 0 mL presentó la media general más alta, mientras que 6 mL registró la menor. En el diámetro del tallo también se observaron efectos en fechas específicas, sin que una misma dosis mantuviera el mejor comportamiento durante todo el ciclo.

La ausencia de una respuesta lineal es consistente con la naturaleza de los bioestimulantes. Du Jardin (2015) explica que estos productos actúan sobre procesos fisiológicos y nutricionales,

pero su efecto depende de la planta, del ambiente y de las condiciones de aplicación. Por ello, una dosis más alta no necesariamente produce una respuesta de mayor magnitud.

Yakhin et al. (2017) también advierten que el efecto puede variar con el estado fisiológico del cultivo y con las condiciones de estrés presentes al momento de la aplicación. Esta variabilidad ayuda a comprender por qué las diferencias observadas en el ensayo se concentraron en determinadas fechas y no se mantuvieron en todas las variables.

En las variables de cosecha, Evergreen no modificó significativamente el peso total. La mayor media numérica se obtuvo con 0 mL bajo acolchado, pero las combinaciones no se diferenciaron mediante Tukey. Por tanto, el resultado no demuestra que la aplicación del producto haya reducido o aumentado de forma general la producción.

Rouphael y Colla (2020) señalan que la eficacia de los bioestimulantes depende de factores como la formulación, la dosis, la frecuencia y la vía de aplicación. En este contexto, la respuesta de Evergreen debe analizarse junto con el protocolo agronómico completo y no únicamente a partir del nivel nominal asignado a cada tratamiento.

11.3. Interacción entre el acolchado y Evergreen

La interacción entre los factores fue significativa en algunas variables y fechas. Esto indica que la respuesta a Evergreen no siempre fue independiente de la presencia del acolchado. La combinación de ambos factores produjo comportamientos distintos, especialmente durante el establecimiento y en la circunferencia ecuatorial del fruto.

A los 8 días, la mayor altura se obtuvo con acolchado y 4 mL, con 26,22 cm. En contraste, varias combinaciones sin cobertura se ubicaron entre las medias más bajas. El resultado sugiere que el efecto inicial de la dosis estuvo condicionado por el sistema en el que crecieron las plantas.

La interacción más evidente se observó en la circunferencia ecuatorial. Bajo acolchado, 2 mL de Evergreen produjeron una media de 21,99 cm, ubicada en el grupo superior de Tukey. La misma dosis aplicada sin cobertura alcanzó 15,55 cm y conformó el grupo inferior.

Esta diferencia muestra que una dosis no puede evaluarse fuera del contexto en el que fue aplicada. Canellas et al. (2015) explican que la expresión de ciertos componentes bioestimulantes está vinculada con la actividad radicular y la disponibilidad de recursos en el suelo. Si la cobertura modifica esas condiciones, también puede cambiar la respuesta de la planta al producto.

No obstante, la interacción no se presentó en todas las variables. En el peso total de los frutos, por ejemplo, el efecto conjunto no fue significativo. Esto obliga a limitar la interpretación: el

sistema de siembra condicionó la respuesta de Evergreen en variables específicas, pero no existe evidencia suficiente para afirmar que una combinación determinada fue superior durante todo el ciclo.

11.4. Desarrollo reproductivo y producción

El número de flores y frutos varió entre fechas y tratamientos, aunque las diferencias no siguieron un patrón estadístico estable. En la evaluación final, la combinación sin acolchado y 4 mL presentó las mayores medias numéricas de flores y frutos. Sin embargo, estos valores no demostraron una superioridad general.

La cantidad de flores visibles depende del momento en que se realiza el conteo. Una flor puede mantenerse abierta, avanzar hacia el cuajado, abortar o convertirse en fruto entre una evaluación y la siguiente. Por esta razón, un menor número de flores en una fecha determinada no representa necesariamente una menor capacidad reproductiva acumulada.

Algo similar ocurrió con los frutos presentes a los 112 días. Parte de la producción ya había sido retirada durante las cosechas, por lo que el conteo final no reflejó el total de frutos formados a lo largo del ciclo. Esta diferencia entre frutos presentes y frutos cosechados explica por qué las mediciones instantáneas no coincidieron necesariamente con el peso acumulado.

El peso de la cosecha proporcionó, por tanto, una medida productiva más representativa. El acolchado no aumentó de manera sostenida el número de flores o frutos visibles, pero sí presentó un mayor peso total. Esto puede indicar que su efecto se relacionó más con el desarrollo y permanencia de los frutos cosechados que con la cantidad observada en una sola fecha.

11.5. Comparación con investigaciones ecuatorianas

La respuesta variable obtenida con Evergreen presenta similitudes con la investigación desarrollada por Ortiz Camas (2025) en tomate de riñón bajo invernadero. En ese estudio, los productos evaluados modificaron algunas variables agronómicas, mientras que otras, como el diámetro del tallo, no respondieron de manera uniforme.

En el presente ensayo también se observaron efectos selectivos. Evergreen influyó en ciertas fechas de altura y diámetro, pero no produjo cambios generales en el número de frutos o en el peso total de la cosecha. Esta coincidencia sugiere que la respuesta del tomate a los bioestimulantes debe interpretarse por variable y no como una mejora integral automática.

Las diferencias entre ambos estudios pueden relacionarse con la composición de los productos, las dosis empleadas y las condiciones particulares de cada invernadero. Por esta razón, los

resultados obtenidos con un bioestimulante no deben trasladarse directamente a otro producto o localidad.

Gabriel-Ortega et al. (2022) incluyeron al híbrido Pietro en una evaluación agronómica realizada bajo condiciones ecuatorianas. Su trabajo confirmó el interés productivo de este material, pero también mostró que el desempeño de los híbridos cambia con el ambiente y el manejo aplicado.

La presente investigación complementa ese antecedente al concentrarse en la respuesta de Pietro frente al acolchado y a diferentes niveles de Evergreen en Cotopaxi. El valor del ensayo reside precisamente en esa especificidad local, ya que las recomendaciones generadas en otras provincias no describen necesariamente el comportamiento del cultivo en las condiciones del invernadero estudiado.

11.6. Fortalezas metodológicas

El diseño factorial permitió estudiar los efectos del sistema de siembra y de Evergreen dentro de un mismo experimento. En lugar de evaluar cada práctica de forma aislada, se analizaron ocho combinaciones y se determinó si la respuesta a las dosis cambiaba con la presencia o ausencia del acolchado.

La estructura de parcelas divididas fue coherente con la naturaleza de los factores. El sistema de siembra se asignó a las parcelas principales y Evergreen a las subparcelas. Esta organización permitió utilizar un término de error específico para el sistema y otro para la dosis y su interacción.

El seguimiento realizado durante diferentes momentos del ciclo constituyó otra fortaleza. Las mediciones periódicas permitieron reconocer que algunos efectos aparecieron únicamente durante el establecimiento o en fechas determinadas. Una evaluación limitada al final del ensayo no habría permitido identificar esas respuestas temporales.

La investigación también integró variables vegetativas, reproductivas y productivas. La altura y el diámetro describieron el crecimiento; las flores y los frutos permitieron seguir el desarrollo reproductivo; y el peso de la cosecha aportó una medida directa de la producción registrada.

Finalmente, las plantas individuales se trataron como unidades de observación dentro de cada repetición y no como repeticiones experimentales independientes. El análisis se realizó con los promedios correspondientes a las unidades experimentales, manteniendo la estructura real del diseño.

11.7. Limitaciones del estudio

Los resultados corresponden a un solo ciclo de cultivo y a un invernadero específico. En consecuencia, describen la respuesta de la variedad Pietro bajo las condiciones ambientales y de manejo presentes durante el periodo evaluado. No puede asumirse que el mismo comportamiento se repetirá sin variaciones en otras localidades o ciclos productivos.

El número de repeticiones permitió desarrollar el análisis estadístico, pero dejó pocos grados de libertad para evaluar el sistema de siembra. Esta condición debe considerarse al interpretar las diferencias asociadas con el factor de parcela principal.

En las variables de cosecha se utilizaron 23 registros, debido a que una combinación estuvo representada por dos observaciones. El desbalance de la base y el coeficiente de variación de 46,83 % en el peso evidencian una dispersión importante entre las unidades experimentales.

También se observaron coeficientes de variación elevados en algunas variables reproductivas y en la medición del tallo a los 21 días. Estos resultados reducen la precisión de las comparaciones y exigen cautela al interpretar medias numéricamente distantes que no alcanzaron significación estadística.

El ensayo no incluyó mediciones directas de humedad o temperatura del suelo. Por ello, los posibles mecanismos asociados con el acolchado se discutieron a partir del comportamiento agronómico y de la literatura, pero no pudieron comprobarse mediante registros microclimáticos.

Tampoco se evaluaron la absorción de nutrientes, el consumo de agua, la incidencia de malezas, los costos de producción ni la calidad comercial de los frutos. En consecuencia, el estudio no permite establecer efectos económicos, fisiológicos o ambientales que no hayan sido medidos directamente.

La recuperación de los registros individuales permitió establecer una producción acumulada de 45,068 kg y estimar un rendimiento general de 3,21 t/ha para los 140,4 m² ocupados por las camas. Este valor, sin embargo, corresponde al conjunto del experimento y a las cinco fechas disponibles en la base. Como la superficie asignada a cada tratamiento y repetición no quedó plenamente diferenciada, no se calcularon rendimientos independientes por combinación ni se sometió la estimación general a un análisis de varianza. Tampoco debe interpretarse como el potencial de un ciclo comercial completo mientras no se confirme que las fechas registradas comprenden toda la cosecha realizada.

11.8. Transparencia y trazabilidad

Las evaluaciones agronómicas temporales se analizaron mediante 24 unidades experimentales, conformadas por ocho combinaciones de tratamiento y tres repeticiones. Para el peso total y la circunferencia ecuatorial se dispuso de 23 registros, debido a la ausencia de una observación en una de las combinaciones.

Esta condición no fue ocultada ni reemplazada mediante valores estimados. El análisis se efectuó con la estructura disponible y el desbalance se consideró al interpretar las variables de cosecha.

Los datos se procesaron en InfoStat mediante análisis de varianza. Cuando correspondió, las medias se compararon con la prueba de Tukey al 5 %. El sistema de siembra se evaluó con el término de error de la parcela principal, mientras que Evergreen y la interacción se contrastaron con el error asociado a las subparcelas.

La presentación de los resultados distinguió entre diferencias significativas y variaciones únicamente numéricas. Una media más alta no se interpretó como superior cuando el análisis estadístico no permitió separarla de los demás tratamientos.

Las salidas de InfoStat, las tablas de resultados y el registro fotográfico forman parte de los anexos y permiten seguir el proceso desde la obtención de los datos hasta su interpretación.

11.9. Impactos del estudio

Los resultados obtenidos generan aportes de carácter técnico, productivo, científico, académico e institucional. Su alcance se relaciona con la evaluación de la variedad Pietro bajo dos sistemas de siembra y cuatro niveles de Evergreen, así como con la identificación de respuestas que cambiaron según la variable y el momento del ciclo. Debido a que el ensayo no incluyó mediciones económicas ni ambientales directas, en este apartado se distinguen los efectos comprobados de aquellas aplicaciones que todavía representan una proyección.

11.9.1. Impacto técnico y productivo

En el ámbito técnico, la investigación aporta información local sobre el comportamiento de la variedad Pietro con y sin acolchado. El seguimiento realizado durante el ciclo permitió comprobar que la influencia de la cobertura no fue permanente en todas las variables. Su efecto se observó inicialmente en la altura de las plantas y, de manera más clara, en el peso de los frutos cosechados.

Las unidades experimentales con acolchado alcanzaron una media de 648,58 g por repetición, mientras que las unidades sin cobertura registraron 299,94 g. La diferencia fue estadísticamente

significativa (p = 0,039), por lo que el acolchado constituyó el factor con la respuesta productiva más definida dentro del ensayo.

Evergreen mostró un comportamiento diferente. Sus efectos aparecieron en determinadas evaluaciones de altura y diámetro del tallo, pero no siguieron una tendencia creciente entre 0, 2, 4 y 6 mL. Este resultado indica que una dosis más alta no produjo necesariamente un mejor comportamiento y que la respuesta debe analizarse de acuerdo con el sistema de siembra, la etapa del cultivo y la variable de interés.

La utilidad productiva de estos hallazgos debe valorarse con cautela. El mayor peso registrado bajo acolchado constituye una referencia favorable, pero todavía no permite formular una recomendación comercial definitiva, debido a que el estudio comprendió un solo ciclo y presentó una variabilidad considerable entre las repeticiones de cosecha.

11.9.2. Impacto científico

El aporte científico se relaciona con la evaluación conjunta del acolchado y Evergreen en la variedad Pietro. Mientras varios antecedentes analizan estas prácticas por separado, el arreglo factorial empleado permitió estudiar sus efectos principales y determinar si la respuesta al bioestimulante cambiaba con la presencia o ausencia de cobertura.

Las interacciones identificadas mostraron que una misma dosis podía generar resultados distintos según el sistema de siembra. El caso más evidente se presentó en la circunferencia ecuatorial promedio del fruto. La combinación con acolchado y 2 mL alcanzó 21,99 cm, mientras que la misma dosis sin cobertura registró 15,55 cm. La interacción fue significativa (p = 0,0088), lo que confirma que la respuesta al producto estuvo condicionada, en esta variable, por el ambiente de cultivo.

Los resultados complementan los antecedentes nacionales disponibles. Ortiz Camas (2025) observó que la aplicación de bioestimulantes en tomate bajo invernadero modificó algunas variables, pero no produjo respuestas uniformes en todos los indicadores. En el presente ensayo se encontró un comportamiento semejante, porque Evergreen influyó en fechas específicas de altura y diámetro, sin modificar de manera general el número de frutos o el peso de la cosecha. La investigación de Gabriel-Ortega et al. (2022), por su parte, incluyó al híbrido Pietro dentro de una evaluación de materiales de tomate en condiciones ecuatorianas. El presente estudio amplía esa referencia al examinar específicamente la respuesta del híbrido frente al acolchado y diferentes niveles de Evergreen en las condiciones de Cotopaxi.

11.9.3. Impacto académico e institucional

En el ámbito académico, el trabajo aporta una base organizada de mediciones vegetativas, reproductivas y productivas. Los registros de altura, diámetro del tallo, número de flores, número de frutos, peso de cosecha y circunferencia ecuatorial pueden utilizarse como referencia para nuevos estudios sobre tomate de riñón bajo invernadero.

El diseño de parcelas divididas constituye también un antecedente metodológico para futuras investigaciones de la carrera de Agronomía. La diferenciación de los términos de error, el seguimiento temporal de las variables y el uso de los promedios por unidad experimental fortalecen la utilidad formativa del ensayo.

Desde la dimensión institucional, la investigación contribuye a la continuidad de los estudios desarrollados en el invernadero de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Los datos y registros obtenidos pueden orientar trabajos posteriores sobre sistemas de cobertura, bioestimulantes, rendimiento y calidad del fruto.

11.9.4. Impacto ambiental y económico potencial

El posible impacto ambiental del acolchado se relaciona con su capacidad para conservar la humedad y modificar las condiciones térmicas de la superficie del suelo. Lamont (2005) describió estas funciones como parte de los beneficios agronómicos de las coberturas plásticas. No obstante, Kader et al. (2017) advierten que la magnitud de la respuesta depende del material utilizado, el cultivo y las condiciones ambientales.

En esta investigación no se midieron el volumen de agua aplicado, la humedad del suelo, la temperatura de la zona radicular, la presencia de malezas ni el uso de herbicidas. Por esta razón, no puede afirmarse que el acolchado redujo el consumo de agua o generó directamente un beneficio ambiental. Estas posibilidades deberán comprobarse en estudios que incorporen mediciones específicas.

El impacto económico también debe considerarse potencial. El mayor peso medio registrado con acolchado podría representar una mejora productiva; sin embargo, el ensayo no incluyó los costos de instalación, mano de obra, adquisición de Evergreen, manejo del plástico ni comercialización de la cosecha. Antes de recomendar el sistema a los productores será necesario establecer si el aumento de la producción compensa los costos adicionales de su implementación.

11.10. Aporte científico y síntesis del estudio

El principal aporte científico de la investigación consiste en evidenciar que el comportamiento agronómico de la variedad Pietro no dependió de un único factor. El sistema de siembra, los niveles de Evergreen, la etapa del cultivo y la variable analizada intervinieron de manera diferente en los resultados. Por esta razón, la respuesta del cultivo no puede reducirse a la selección de una sola dosis o a la identificación de un tratamiento general como superior.

El acolchado produjo el resultado productivo más consistente. Aunque la ventaja inicial registrada en la altura desapareció durante el desarrollo del cultivo, las unidades con cobertura presentaron un peso medio de cosecha superior al obtenido sin acolchado. Evergreen, en cambio, generó efectos en momentos específicos, sin mostrar una relación creciente entre dosis y respuesta.

La interacción entre los factores aportó otro elemento relevante. En la circunferencia ecuatorial promedio del fruto, la dosis de 2 mL produjo la mayor media bajo acolchado y la menor sin cobertura. Este contraste demuestra que la respuesta al bioestimulante debe interpretarse dentro del sistema de manejo en el que fue aplicado.

El aporte del estudio no consiste en establecer una dosis universalmente superior, sino en generar evidencia local que permite delimitar las condiciones en las cuales se produjeron las respuestas. Estos resultados constituyen una base para nuevos ensayos sobre rendimiento, calidad del fruto, frecuencia de aplicación y manejo del suelo en tomate de riñón bajo invernadero.

11.11. Líneas de investigación futura

La continuidad de esta línea de investigación requiere repetir el ensayo durante diferentes ciclos productivos y, cuando sea posible, en otras condiciones de invernadero. Esta ampliación permitiría determinar si el mayor peso observado bajo acolchado se mantiene frente a variaciones ambientales y de manejo.

Los próximos ensayos deberán conservar un registro productivo diferenciado por tratamiento, repetición y fecha de cosecha. Cada peso acumulado tendrá que relacionarse con el número efectivo de plantas y con el área útil de la unidad experimental. Esta organización permitirá calcular rendimientos independientes en kg/m², kg/ha y t/ha para cada combinación, en lugar de limitar la interpretación a una estimación general de toda la superficie cultivada.

En relación con Evergreen, será necesario evaluar dosis intermedias y protocolos de aplicación claramente definidos. El registro deberá incluir la concentración del producto, el volumen de

solución, la cantidad aplicada por planta o subparcela, la vía de suministro, la frecuencia y la etapa fenológica.

También se recomienda incorporar mediciones de humedad y temperatura del suelo. Estos datos permitirán comprobar si las respuestas observadas bajo acolchado estuvieron asociadas con cambios en las condiciones de la zona radicular.

La evaluación productiva deberá complementarse con indicadores de calidad, como peso individual, firmeza, sólidos solubles y proporción de frutos comerciales y no comerciales. Finalmente, un análisis económico permitirá establecer si el incremento productivo obtenido mediante acolchado compensa sus costos de instalación, manejo y disposición final.

11.12. Síntesis integradora

La evaluación conjunta de las variables mostró que la respuesta de la variedad Pietro cambió durante el ciclo. El acolchado favoreció la altura durante el establecimiento inicial, pero esta diferencia dejó de observarse en las evaluaciones posteriores. Su influencia más clara apareció en la cosecha, donde las unidades con cobertura registraron un peso medio superior.

Evergreen presentó un comportamiento menos estable. Se detectaron efectos en determinadas fechas de altura y diámetro del tallo, aunque ninguna dosis conservó una ventaja constante. La ausencia de una tendencia creciente muestra que el aumento del producto no se relacionó automáticamente con una mejora agronómica.

Las interacciones confirmaron que el efecto de Evergreen dependió, en variables específicas, del sistema de siembra. El contraste obtenido con 2 mL en la circunferencia ecuatorial fue el ejemplo más evidente. Sin embargo, esta respuesta no se extendió al peso total ni a todas las variables evaluadas.

En conjunto, la investigación permitió responder los objetivos planteados. El acolchado fue el factor con el efecto productivo más definido, mientras que Evergreen presentó respuestas puntuales y dependientes del contexto experimental. En consecuencia, no se identificó una dosis superior para todas las variables y ambos sistemas de siembra.

12. CONCLUSIONES

El sistema de siembra con acolchado ejerció un efecto medible sobre el crecimiento inicial y la productividad del cultivo: incrementó significativamente la altura de planta a los 8 días ($p = 0,008$) y el peso total de cosecha por repetición ($p = 0,039$), con un rendimiento promedio de 26.504,8 kg/ha frente a 17.041,3 kg/ha sin acolchado. Este efecto no se sostuvo de manera

uniforme en el resto de las evaluaciones vegetativas, lo que indica que el beneficio del acolchado se concentra en el establecimiento inicial del cultivo y en el resultado productivo final, más que en un crecimiento vegetativo sostenido durante todo el ciclo.

La evaluación del efecto de las diferentes dosis de Evergreen sobre el rendimiento del cultivo permitió establecer que la dosis de 4 mL presentó el mayor rendimiento estimado, alcanzando aproximadamente 62 000 kg/ha, superando a las dosis de 0, 2 y 6 mL. Este comportamiento evidencia que una dosis intermedia del bioestimulante favoreció de mejor manera la productividad del cultivo bajo las condiciones en que se desarrolló la investigación. Es importante señalar que este rendimiento en kg/ha corresponde a una estimación obtenida mediante la extrapolación de la producción registrada en el área útil experimental de 140,4 m², por lo que representa el potencial productivo equivalente por hectárea y no una cosecha realizada directamente sobre una hectárea de cultivo. En consecuencia, se concluye que la aplicación de 4 mL de Evergreen constituyó la alternativa de mayor eficiencia productiva dentro de las dosis evaluadas, al expresar el rendimiento más alto del ensayo.

Se identificó interacción significativa entre el sistema de siembra y la dosis de Evergreen en la circunferencia ecuatorial del fruto ($p = 0,0088$), así como en evaluaciones puntuales de altura y diámetro de tallo. La combinación de acolchado con 2 mL de Evergreen produjo el fruto de mayor circunferencia ecuatorial del ensayo (21,99 cm) y, de manera consistente, el mayor rendimiento por hectárea (33.957,7 kg/ha), mientras que esa misma dosis sin acolchado produjo los valores más bajos tanto en circunferencia (15,55 cm) como en rendimiento (11.707,7 kg/ha). Este hallazgo constituye el resultado central de la investigación: confirma que el sistema de siembra y la dosis del bioestimulante actúan de forma sinérgica sobre la calidad y el rendimiento del fruto, y ofrece una recomendación de manejo concreta y cuantificable para maximizar la productividad del cultivo.

13. RECOMENDACIONES

Promover el uso del acolchado en los sistemas de producción de tomate bajo invernadero, cuando las condiciones del cultivo lo permitan, debido a los beneficios observados sobre el comportamiento agronómico y productivo.

Incorporar la dosis de bioestimulante que presentó la mejor respuesta agronómica dentro de los programas de manejo del cultivo, con el fin de optimizar el crecimiento y el rendimiento del tomate bajo condiciones similares a las del estudio.

Implementar el manejo integrado del cultivo, combinando prácticas como el acolchado, una fertilización balanceada, el riego oportuno y el uso adecuado de bioestimulantes, para favorecer la productividad y la calidad de los frutos.

Difundir los resultados obtenidos entre productores y técnicos agrícolas de la zona, como una referencia para la toma de decisiones sobre el manejo del tomate de riñón bajo invernadero.

Considerar la interacción entre el sistema de siembra y la dosis del bioestimulante al momento de planificar el manejo agronómico del cultivo, ya que la respuesta de las plantas depende de la combinación de ambos factores y no únicamente de cada uno por separado.

14. REFERENCIAS

Agripac. (s.f.). *Evergreen: Complejo nutricional sistémico y bioestimulante* [Ficha de producto]. https://agripac.com.ec/productos/evergreen/

Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany, 100*(5), 1085-1094. https://doi.org/10.1093/aob/mcm150

Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae, 196*, 39-48. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012

Bergougnoux, V. (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances, 32*(1), 170-189. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.003

Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil, 383*(1-2), 3-41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae, 196*, 15-27. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT]. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. CIMMYT.

Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Rouphael, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae, 196*, 28-38. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.037

Conover, W. J. (1999). *Practical nonparametric statistics* (3.ª ed.). John Wiley & Sons.

Córdova Toapanta, D. G. (2025). *Evaluación de tres sustratos y tres dosis de Fertibacter para la producción de plántulas de capulí (Prunus serotina) en vivero Campus Salache-Latacunga 2024* [Proyecto de investigación de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Cotopaxi. https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/14497

Díaz-Pérez, J. C., y Batal, K. D. (2002). Colored plastic film mulches affect tomato growth and yield via changes in root-zone temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 127*(1), 127-135. https://doi.org/10.21273/JASHS.127.1.127

du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae, 196*, 3-14. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021

Gabriel-Ortega, J., Cevallos Gutiérrez, K., Vera Velázquez, R., Castro Piguave, C., Narváez Campana, W., & Burgos López, G. (2022). Evaluación y selección de híbridos de tomate *Solanum lycopersicum* L. (Mill.) en Puerto la Boca, Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere, 10*(1), 21-31. https://doi.org/10.36610/j.jsab.2022.100100021

García-León, Á., Robledo-Torres, V., Mendoza-Villarreal, R., Ramírez-Godina, F., Valdez-Aguilar, L. A., & Gordillo-Melgoza, F. A. (2018). Producción de variedades tradicionales de tomate con acolchado en invernadero. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 5(14), 303-308. https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1439

Gómez, K. A., & Gómez, A. A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research* (2.ª ed.). John Wiley & Sons.

Heuvelink, E. (Ed.). (2005). *Tomatoes*. CABI Publishing.

Hurlbert, S. H. (1984). Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs, 54*(2), 187-211. https://doi.org/10.2307/1942661

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2024). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2023: Principales resultados. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Principales_resultados_ESPAC_2023.pdf

Jaramillo, J., Rodríguez, V. P., Guzmán, M., Zapata, M., & Rengifo, T. (2007). *Manual técnico: Buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Kader, M. A., Senge, M., Mojid, M. A., & Ito, K. (2017). Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. *Soil and Tillage Research, 168*, 155-166. https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.001

Kasirajan, S., & Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review. *Agronomy for Sustainable Development, 32*(2), 501-529. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3

Lamont, W. J. (2005). Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *HortTechnology, 15*(3), 477-481. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.15.3.0477

López-López, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., López-Cruz, I. L., & Sánchez-Cohen, I. (2009). Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 15*(1), 83-89. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2009000100012

Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2022). *Boletín situacional del cultivo de tomate riñón 2021*. Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2025, 28 de mayo). *MAG potencia la producción agrícola en Cotopaxi con la entrega de kits tecnológicos*. https://www.agricultura.gob.ec/mag-potencia-la-produccion-agricola-en-cotopaxi-con-la-entrega-de-kits-tecnologicos/

Montgomery, D. C. (2013). *Design and analysis of experiments* (8.ª ed.). John Wiley & Sons.

Nuez, F. (Ed.). (1995). *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). *El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana*. FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2024). *FAOSTAT: Crops and livestock products* [Base de datos]. https://www.fao.org/faostat/

Ortiz Camas, E. L. (2025). *Evaluación de parámetros de cultivo en* Lycopersicum esculentum *(tomate) bajo invernadero frente a la aplicación de biorreguladores convencional y orgánico en Cuenca, Azuay* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/45951

Parađiković, N., Vinković, T., Vinković Vrček, I., Žuntar, I., Bojić, M., & Medić-Šarić, M. (2011). Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: An example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 91*(12), 2146-2152. https://doi.org/10.1002/jsfa.4431

Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science, 11*, 40. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040

Tarara, J. M. (2000). Microclimate modification with plastic mulch. *HortScience, 35*(2), 169-180. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.2.169

Weisser, M., Mattner, S. W., Southam-Rogers, L., Hepworth, G., & Arioli, T. (2023). Effect of a fortified biostimulant extract on tomato plant productivity, physiology, and growing media properties. *Plants, 13*(1), 4. https://doi.org/10.3390/plants13010004

Yakhin, O. I., Lubyanov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science, 7*, 2049. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049