Implementación de un modelo de producción automatizada de tomate San Marzano en un invernadero escolar y su aporte a la formación agrícola

Implementation of an automated San Marzano tomato production model in a school greenhouse and its contribution to agricultural vocational training

por: Jhostyn Jacob Quinayas Fandiño[1], Diego Alexander Hernández Contreras[2], Rubén Darío González-Román[3*]

Recibido: 26 de junio de 2026 *Aceptación: 22 de julio de 2026*

Resumen

La producción nacional y mundial de tomate (***Solanum lycopersicum***), ha presentado incrementos sostenidos en su producción en los últimos años, relacionados principalmente a la inversión tecnológica agrícola, como la implementación de invernaderos o cultivos bajo cubierta. Este estudio describe la implementación y evaluación de un modelo de producción automatizada de tomate San Marzano en el invernadero tecnificado de la Institución Educativa Policarpa Salavarrieta (Facatativá, Colombia) y su contribución a la formación técnicoagropecuaria de su comunidad escolar. Se realizó una investigación descriptivoexperimental entre julio y octubre de 2024 en un área de 142 m^2, con riego y fertirrigación automatizados, monitoreo semanal de condiciones abióticas y manejo MIPE de 312 plantas; se registraron plagas, fisiopatías y patologías presentes. La cosecha comercializable fue de 84 kg (ganancia 390.000 COP), y el rendimiento estimado fue 0,7253 kg/m^2 (7,25 t/ha), proyectable a 21,75 t/ha en tres ciclos anuales. Las pérdidas se estimaron en un 23% por fisiopatías. El proyecto incluyó capacitaciones a estudiantes (grados 9°–11°), visitas académicas y la generación de un informe técnico para la institución. Los autores concluyen que el invernadero automatizado mejora eficiencia hídrica,

1 Universidad de Cundinamarca, facultad Ciencias Agropecuarias, programa Ingeniería Agronómica. Facatativá, Cundinamarca, Colombia. jquinayas@ucundinamarca.edu.co. https://orcid.org/0009-0006-1505-9015.
2 Universidad de Cundinamarca, facultad Ciencias Agropecuarias, programa Ingeniería Agronómica. Facatativá, Cundinamarca, Colombia. dahernandezcontreras@ucundinamarca.edu.co. https://orcid.org/0000-0002-1303-1717.
3 Universidad de Cundinamarca, facultad Ciencias Agropecuarias, programa Ingeniería Agronómica. Facatativá, Cundinamarca, Colombia. *Autor de correspondencia: rubendgonzalez@ucundinamarca.edu.co. https://orcid.org/0000-0002-3081-6049.

ofrece oportunidades pedagógicas prácticas y funciona como piloto para ampliar producción y articulación con actores externos, recomendando integrar estrategias pedagógicas transversales y colaboración interinstitucional.

Palabras clave: agricultura sostenible, educación agraria, fitosanidad, innovación agrícola, *Solanum lycopersicum*.

Abstract

*National and global production of tomato (**Solanum lycopersicum**) has shown sustained increases in recent years, largely associated with technological investments in agriculture such as greenhouse cultivation and protected cropping systems. This study describes the implementation and evaluation of an automated production model for San Marzano tomato in the technified greenhouse of the Institución Educativa Policarpa Salavarrieta (Facatativá, Colombia) and its contribution to the institution's technicalagricultural training. A descriptiveexperimental study was conducted between July and October 2024 on a 142 m² area, using automated irrigation and fertigation, weekly monitoring of abiotic conditions and IPM phytosanitary management for 312 plants; pests, physiopathies and diseases were recorded. Marketable yield amounted to 84 kg (income 390,000 COP) and estimated productivity was 0.7253 kg/m² (7.25 t/ha), projectable to 21.75 t/ha across three annual cycles. Losses were estimated at 23% due to physiopathies. The project included training sessions for students (grades 9–11), academic visits and the preparation of a technical report for the institution. The authors conclude that the automated greenhouse improves wateruse efficiency, provides practical pedagogical opportunities and serves as a pilot for scaling production and fostering collaboration with external stakeholders, recommending the integration of transversal pedagogical strategies and interinstitutional partnerships.*

Keywords: agricultural education, agricultural innovation, plant health, Solanum lycopersicum, sustainable agriculture.

Introducción

El tomate, ***Solanum lycopersicum*** L., nombrado a partir del vocablo náhuatl "***xictommatl***" (fruta de agua con ombligo), es una especie de solanaceae originaria de América, con su centro de origen reconocido hacia la región Andina, en zonas de Bolivia, Chile, Perú y Ecuador (Gobierno de México, 2017). Los países con mayor participación en la producción mundial de tomate son China (30%), India (10%), Estados Unidos (8%), Turquía (7%), y Egipto (6%), y en Sudamérica, la producción es liderada por Brasil, en donde su participación regional representó un 61% para el 2012, seguido por Chile con 12% y Argentina con 10% (FAO, 2013). En el continente Americano, en 2013, Brasil reportó un rendimiento cercano a las 62 t/ha (toneladas de frutos cosechados por hectárea cultivada), Chile 63 t/ha y Estados Unidos 85 t/ha. Estos valores se han incrementado a lo largo de los años, ya que para el 2000 el rendimiento promedio mundial pasó de 26 a 36 t/ha para el 2011 (FAO, 2013), y esta tendencia alcista en la producción se ha mantenido así durante la última década (FAO, 2024). Según Viteri y García (2013), este incremento se relaciona a la inversión tecnológica agrícola y no necesariamente a la expansión de la frontera agrícola.

En Colombia, la producción total de tomate para el 2021 fue de 458 mil toneladas, siendo los principales productores los departamentos Antioquia, Boyacá y Cundinamarca (DANE, 2022).

El país ha incursionado en el uso de nuevas técnicas de producción como la implementación de invernaderos o cultivos bajo cubierta, en donde se han reconocido avances a nivel de calidad y cantidad de producción, además de minimizar el impacto ambiental (Bojacá et al., 2014).

La Institución Educativa Municipal Técnica Agropecuaria (IEMTA) "Policarpa Salavarrieta", ubicada en el municipio de Facatativá (km 3 vía Bogotá-Albán, vereda Los Manzanos), Cundinamarca, fue fundada en 1997 con el objetivo de ofrecer educación técnica agropecuaria a los jóvenes del sector rural en la región sabana de Occidente (SED Facatativá, 2024). Su misión se centra en formar bachilleres técnicos agropecuarios con altos valores éticos y morales, así como habilidades y destrezas que les permitan convivir en armonía y resolver situaciones de su contexto. La IEMTA busca que sus estudiantes se vinculen laboralmente al sector productivo, fomentando la creación de microempresas y contribuyendo al desarrollo de nuevos emprendimientos positivos para la sociedad y al País (SED Facatativá, 2024).

Actualmente, la Institución Educativa, cuenta con un novedoso invernadero automatizado que consta de 3 naves, donado por la Embajada del Gobierno de Japón, representando una inversión de 300'000.000 COP (Embajada del Japón en Colombia, 2022; 2024). En este invernadero, a partir de 2024, se llevan a cabo diferentes actividades de índole agronómico como germinación de semillas y producción de plántulas de diversas especies de hortalizas y producción de lechuga (***Lactuca sativa*** L.), en hidroponía y de tomate italiano, variedad "San Marzano" (Canal Trece, 2024). No obstante, desde su uso activo, las labores desarrolladas en el invernadero son adelantadas por personal técnico o profesional (o en formación), como pasantes y practicantes universitarios, con fines productivos y con participación mínima de la comunidad escolar de la IEMTA.

El objetivo principal de esta investigación, fue implementar un modelo de producción automatizada de tomate "San Marzano", en condiciones de invernadero para mejorar las experiencias de productividad y sostenibilidad agrícola de la IEMTA Policarpa Salavarrieta de Facatativá, Colombia, vinculando efectivamente a actores de la comunidad escolar y realizando aportes a su formación técnico-agropecuaria.

Materiales y métodos

Tipo de estudio

La investigación consistió en un estudio descriptivo-experimental, basado en la implementación y evaluación de un modelo automatizado de producción de tomate en invernadero durante julio y octubre de 2024.

Área de estudio

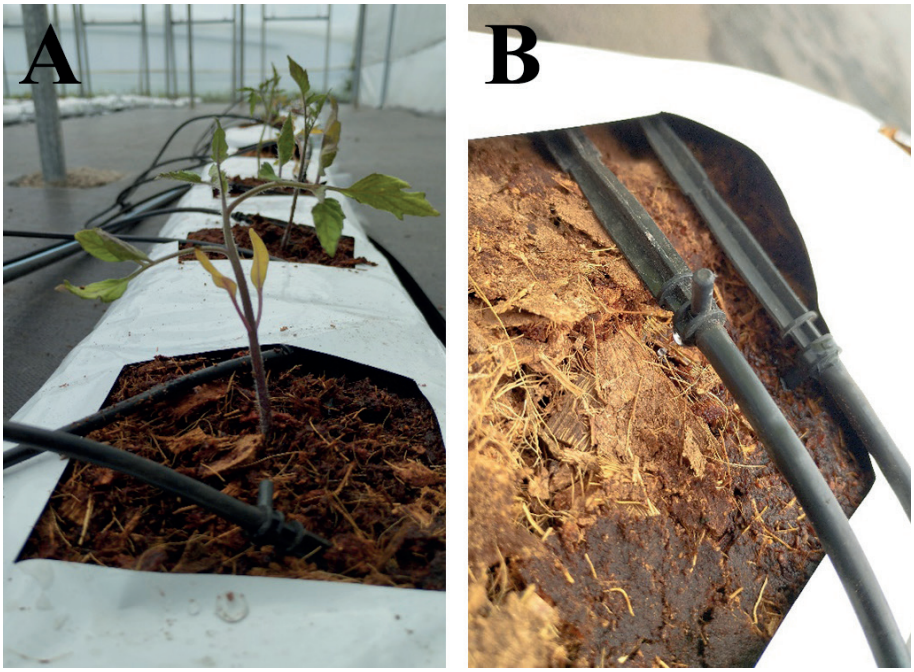
Las actividades planteadas para la producción de tomate "San Marzano" se llevaron a cabo en las instalaciones de la IEMTA Policarpa Salavarrieta, Facatativá, Cundinamarca. Específicamente, todas las actividades se realizaron en Centro de Investigación e Innovación Agropecuaria (CIIAP), conformado por el invernadero automatizado del colegio.

Este invernadero cuenta con herramientas tecnológicas y equipos de automatización para el control de variables abióticas, riego, y fertirrigación: un **centro de control** (regulación de temperatura, humedad relativa, y ventilación del invernadero de manera automática según las configuraciones establecidas), **estaciones Hunter** (control y regulación de tiempo de riego dentro del invernadero de manera presencial o inalámbrica), un **sistema de fertirrigación automatizado** (aplicación controlada de agua y nutrientes que se vierten directamente a la zona radicular del cultivo), **sensores de temperatura y humedad** (monitoreo de microclima y ajuste automático de condiciones), distribuidos por el invernadero, **sensores de nutrientes** (medición de conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva para asegurar un suministro óptimo de nutrientes a las plantas), e **luminómetros** (medición de niveles de irradianza dentro del invernadero y ajuste de iluminación suplementaria, de ser necesario).

Material vegetal

El tomate San Marzano es una variedad de alto vigor; presenta entrenudos de 40-50 cm de distancia, adaptabilidad entre los 1000-2600 msnm, alto cuaje de frutos y excelente respuesta frente a problemas sanitarios (Sáenz Fety, 2024). Las plántulas empleadas (figura 1A), fueron germinadas por parte de la empresa Sáenz Fety, patrocinador certificado que asegura la uniformidad del cultivo, tolerancia de fitopatógenos y la producción de frutos con un peso general entre 100 a 130 g, con alto contenido de pulpa, especial para la elaboración de salsas (Sáenz Fety, 2024).

Figura 1.
Plántulas de tomate, variedad San Marzano (A) y sustrato de fibra de coco (durante la hidratación) (B) empleados en este estudio.



Fuente: Quinayas-Fandiño, 2024.

Establecimiento del cultivo

Se empleó fibra de coco como un medio de cultivo (sustrato) inerte, para asegurar un drenaje adecuado y proporcionar un soporte óptimo en el sistema radicular de las plantas. Esta fibra viene compactada y plastificada con materiales que brindan protección UV (figura 1B). Este sustrato fue diseñado para la producción de tomate y fue suministrado por la empresa Sáenz Fety.

El tomate San Marzano, es una variedad de crecimiento indeterminado, por lo que la técnica de cultivo implementada, fue de tutorado continuo (Sáenz Fety, 2024); este consta de un gancho de alambre sujetado en la parte superior de las camas y del cual se enrolla una cuerda, la cual se ajusta mediante anillos sujetadores en la parte baja de los nudos de la planta para que se sostengan y tengan un crecimiento erecto.

El plan nutricional o de fertilización por fertirriego (anexo 1), fue definido para tres momentos específicos del cultivo de acuerdo con las necesidades fisiológicas/fenológicas de las plantas: hidratación y acondicionamiento de sustrato/plántulas (día 1, semana 0), desarrollo vegetativo del cultivo (semana 1 a semana 13), y etapa productiva del cultivo (semanas 13 y 14).

Los frutos cosechados fueron pesados y relacionados con el área de producción (m^2), que dispone el cultivo para calcular el rendimiento, identificando su relación con diferentes variables, situaciones y retos emergentes durante el proceso.

Aporte a la formación agropecuaria de la comunidad educativa

Se pretendió promover la participación de los estudiantes, docentes y comunidad escolar en general en las diferentes actividades realizadas en el CIIAP, con un lenguaje y terminología amigable para el nivel académico. Inicialmente, se realizaron charlas y capacitaciones ante la comunidad escolar respecto a la ejecución del proyecto, tanto por parte de los investigadores como del personal de la empresa Sáenz Fety (tabla 1). Posteriormente, se contó con el apoyo, principalmente de estudiantes de grados superiores (10° y 11°), para realizar labores culturales como mantenimiento del cultivo, podas sanitarias y de formación, monitoreos, toma de datos y cosecha de frutos.

Tabla 1.
Relación de capacitaciones orientadas a la comunidad escolar de la IEMTA Policarpa Salavarrieta en el desarrollo de esta investigación. JJQF: Jhostyn Jacob Quinayas-Fandiño; SF: Sáenz-Fety; DAHC: Diego Alexander Hernández-Contreras.

Semana	Personal capacitador	Personal capacitado	Temática
0	JJQF	Comunidad escolar general: estudiantes, docentes y administrativos	Socialización del proyecto
0	JJQF	Grados 9°, 10° y 11°	Uso de sistema productivo automatizado
1	JJQF / SF	Estudiantes primaria y bachillerato. Grados 9°, 10° y 11°	Propagación de tomate en sustrato comprimido
1	JJQF / SF	Grados 9°, 10° y 11°	Sistema de riego y fertiirrigación
7	JJQF / SF	Grados 9°, 10° y 11°	Manejo cultural y monitoreo MIPE
10	JJQF / DAHC	Grados 9°, 10° y 11° - Curso Fisiología Vegetal (Universidad de Cundinamarca, Facatativá, 2024-2)	Toma y analítica de datos
13	JJQF	Grados 9°, 10° y 11°	Métodos de cosecha
14	JJQF	Grados 9°, 10° y 11°	Poscosecha y comercialización
15	JJQF	Comunidad escolar general: estudiantes, docentes y administrativos	Socialización de informe técnico

Fuente: autores.

Finalmente, como producto de las experiencias y conocimientos adquiridos durante el proceso productivo, se sintetizó un informe técnico con un lenguaje comprensible para socializar con la comunidad académica de la IEMTA. Este informe se aportó al colegio con información general y específica los procesos y acontecimientos sucedidos durante el ejercicio productivo, así como capacitaciones, visitas y diferentes actividades realizadas en el marco de la investigación.

Resultados

El cultivo de tomate Italiano, variedad San Marzano, se estableció dentro de las instalaciones del CIIAP (invernadero automatizado), de la IEMTA Policarpa Salavarrieta, en un área de 142 m^2, para un total de 312 plantas, dispuestas en 78 unidades de sustrato. El sustrato de fibra de coco comprimida, aportado por Sáenz Fety, fue el empleado para soportar el sistema vegetal del tomate. La fertilización se realizó por medio de riego por goteo según el plan de fertilización descrito en el anexo 1 y se empleó la técnica de tutorado mediante anillos sujetadores para brindar soporte mecánico a las plantas (figura 2).

Figura 2.
Establecimiento del cultivo de tomate San Marzano en el CIAPP de la IEMTA Policarpa Salavarrieta.

Fuente: Quinayas-Fandiño, 2024.

En el monitoreo de factores bióticos y abióticos se generaron registros semanales; los datos de temperatura y humedad fueron obtenidos de los registros digitales y se encuentran en la tabla 2. Adicionalmente, se reconocieron afectaciones de plagas y enfermedades en el cultivo (monitoreo MIPE -manejo de plagas y enfermedades), siguiendo las recomendaciones de los asesores de la empresa Sáenz Fety: estas evaluaciones se realizaron iniciando por un borde del cultivo, revisando de manera intercalada las plantas en sus tercios bajo, medio y alto; y posteriormente ingresando entre las camas del cultivo, realizando un monitoreo en zig-zag. Los principales hallazgos se encuentran en la tabla 3. Se destaca la patología denominada marchitez bacteriana, causada por la bacteria ***Ralstonia solanacearum*** (Smith) Yabuchi, identificada en tres plantas en la semana 12. Esta bacteria se reconoció a través de cultivo en medio nutritivo y mediante observación microscópica con tinción de Gram.

Tabla 2.
Registro de monitoreo condiciones abióticas del cultivo de tomate San Marzano en el CIIAP de la IEMTA Policarpa Salavarrieta.

Semana	Temperatura promedio (°C)	Humedad relativa (%)
1	25,5	70
2	26,0	65
3	26,3	66
4	26,1	72
5	25,9	63
6	25,7	53
7	25,5	47
8	25,3	50
9	25,1	65
10	24,9	77
11	24,7	82
12	24,5	78
13	24,3	80
14	24,1	82
15	23,9	79

Fuente: Quinayas-Fandiño, 2024.

Tabla 3.
Principales hallazgos encontrados en los monitoreos MIPE del cultivo de tomate San Marzano.

Semana	Hallazgo	Observaciones
1	N.A.	No se observan plagas significativas.
2	Plaga	Mosca blanca detectada en dos camas.
3	Plaga	Moscas del sustrato en una cama.
4	Plaga	Áfidos detectados en 1 cama.
5	Plaga	Mosca blanca en una cama.
6	Plaga	Moscas del sustrato en dos camas.
7	N.A.	No se observan plagas significativas.
8	Plaga	Áfidos en dos camas.
	Fisiopatía	Frutos necróticos en el ápice (culillo).
9	Plaga	Mosca blanca en una cama y mosca del sustrato una cama.
10	Plaga	Áfidos en una cama.
11	Plaga	Mosca blanca en dos camas.
	Fisiopatía	Frutos necróticos en el ápice (culillo).
12	Patología	Afectación por bacteriosis (***Ralstonia solanacearum***) en tres plantas de una cama.
13	Plaga	Áfidos detectados en una cama y mosca del sustrato una cama.
14	Plaga	Mosca blanca en una cama.
15	Plaga	Moscas del sustrato en dos camas.

Fuente: Quinayas-Fandiño, 2024.

Con base en los hallazgos de los monitoreos MIPE, fueron propuestos planes de aspersiones para el control de las plagas, enfermedades (fisiopatías y patologías) y otras, los cuales se encuentran en la tabla 4. Al inicio del experimento, el CIIAP solo contaba con los productos KSI y Ajibiol (ajo-ají), pero el 11 se septiembre (semana 8) llegaron nuevos insumos con los cuales se pudieron realizar aplicaciones más específicas para los blancos biológicos. La cantidad de agua empleada en las aspersiones incrementa proporcionalmente al crecimiento del cultivo.

Tabla 4.
Plan de aspersiones para el control de plagas, enfermedades.

Semana	Producto	Dosis	Total litros aplicados	Blanco biológico/objetivo
2	Ajibiol	5 mL/L	6 L	Mosca blanca, áfidos
4	Ajibiol	5 mL/L	8 L	Mosca blanca, áfidos
8	KSI	5 mL/L	10 L	Mosca blanca, áfidos y ácaros
11	Sáfermix WP	1 g/L	14 L	Mosca blanca, áfidos
12	Ajibiol	5 mL/L	8 L	Mosca blanca, áfidos
13	Oxicloruro de cobre	5 g/L	12 L	Bacteriosis y preventivo
14	Sáfermix WP	1 g/L	16 L	Mosca blanca, áfidos
15	Aminoácidos	1 mL/L	16 L	Estrés

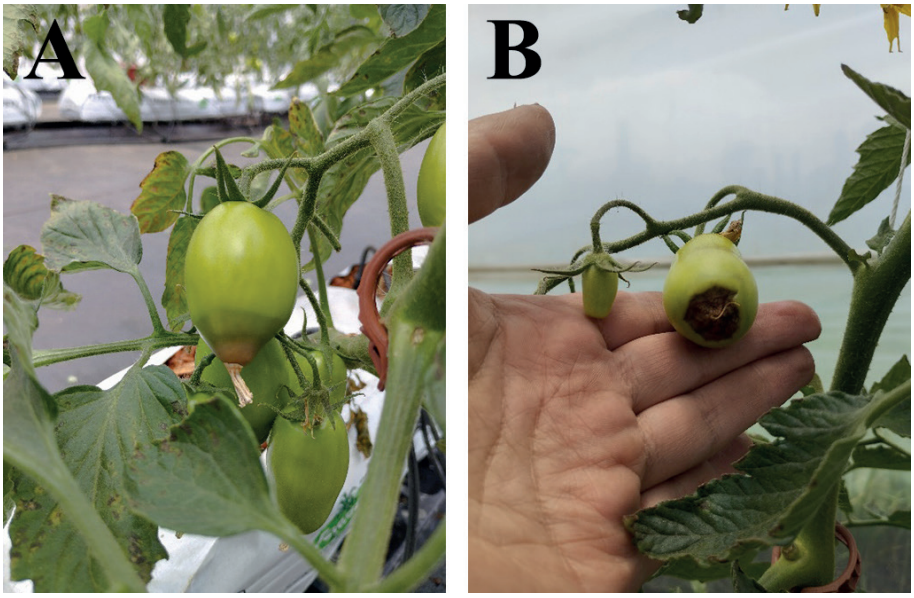
Fuente: Quinayas-Fandiño, 2024

Se obtuvo una cosecha de tomates por 84 kg en óptimo estado fisiológico para la venta (Figura 3), y pérdidas de un 23% sobre el total esperado de producción (19 kg). Esto se debió casi en su totalidad por problemas fitosanitarios de ***blossom end root***, o podredumbre apical, enfermedad comúnmente denominada en Colombia como "culillo", una fisiopatía (afectación no infecciosa), reconocible del fruto y que promueve la necrosis en su ápice (figura 4), debido a carencias de calcio (Ca) (Melis & Gopar, 2019). Esta enfermedad representa afectaciones comerciales de la producción debido al aspecto estético del fruto.

Figura 3.
Cosecha (A) y empaquetado para comercialización (B) de tomates San Marzano.

Fuente: Quinayas-Fandiño, 2024.

Figura 4.
Frutos de tomate, variedad San Marzano, afectados con podredumbre apical con sintomatología inicial (A) y final (B).



Fuente: Quinayas-Fandiño, 2024.

Los frutos cosechados por los estudiantes de los grados 10° y 11°, fueron comercializados al interior de la institución y por encargo a personal externo. La presentación de venta eran bolsas o cajas plásticas de 500 g y 1000 g (figura 3B), con un valor de 3.000/6.000 COP, respectivamente. Teniendo en cuenta las pérdidas de 23%, la ganancia económica de los 84 kg producidos fueron 390.000 COP. El rendimiento calculado para las 15 semanas de desarrollo del cultivo fue de 0,7253 kg/m^2 o 7,25 t/ha. Así, en un año podrían darse tres ciclos productivos de 15 semanas, con una productividad estimada de 21,75 t/ha. No obstante, este valor está subestimado, ya que algunos autores indican que, en zonas templadas, y con un manejo nutricional y sanitario adecuados (como en invernaderos automatizados), las plantas de tomate pueden extender su producción durante 4 a 6 meses antes de la senescencia (Consorzio del Pomodoro San Marzano DOP, 2026; Suazo et al., 2023).

Discusión

Impacto de la automatización en la productividad y sostenibilidad

En el proceso productivo se observó un gran avance en el uso del recurso hídrico ya que los riegos están digitalmente establecidos, y las gotas caen directamente sobre el sustrato, en comparación con cultivos anteriormente establecidos en el colegio y que no contaban con sistemas automatizados de fertirrigación. Este aspecto es relevante en el manejo y aumento de la productividad de diferentes variedades de tomate, dado que el riego y fertilización por goteo, es una técnica ampliamente empleada en el manejo del agua y la nutrición bajo contextos de invernadero, toda vez que hace más eficiente al sistema y limita la susceptibilidad en la aparición de fitopatógenos que limitan la calidad final de las plantas y frutos (Perilla et al., 2011; Fonseca, et al. 2019). Sin embargo, para potenciar la eficiencia del invernadero, y en general de la productividad de las hortalizas, es sugerible implementar la modelación de datos matemáticos que describen el crecimiento de las plantas y comparar diferentes condiciones de sustratos, uso de micorrizas, o variación en las concentraciones nutricionales para optimizar los recursos implementados (Cardona-Reyes, et al. 2025; Fonseca & Calderón-Ricardo, 2021).

Los frutos obtenidos bajo invernadero son estéticamente más llamativos ya que, en general, no están expuestos a condiciones limitantes externas, como plagas, enfermedades o condiciones agroclimáticas fluctuantes, y en algunos reportes las plantas presentan una producción mayor, equivalente a entre 200 a 300% en comparación con aquellas desarrolladas a cielo abierto (Bojacá et al., 2014).

En cuanto a la sostenibilidad, la implementación del invernadero en los procesos productivos y formativos del colegio reduce el impacto ambiental en diferentes aspectos: Por ejemplo, emplea menos espacio para producir más cantidad de frutos, usa como fuente hídrica el agua de lluvia (recirculación),y dirige el riego junto con la nutrición precisa de las plantas. Estas mejoras representan, a corto, mediano y largo plazo, un menor uso de pesticidas y planes de contingencia, ya que las plantas crecen generalmente sanas, en un medio que ofrecer mejor control de plagas y enfermedades (Scarlato et al., 2023; Soto et al., 2019), lo que se traduce en mejores resultados en la etapa de cosecha y postcosecha en cualquier sistema productivo (Garay-Pardo, et al. 2025).

Transferencia de conocimiento y aplicabilidad

La adopción de tecnologías en invernaderos automatizados, suele enfrentar retos técnicos debido a la necesidad de contratar personal capacitado, especialmente en entornos educativos (Fonseca & Ramos, 2019). En este orden de ideas, siendo esta la primera experiencia productiva que se implementó en el invernadero donado por el Gobierno Japones al colegio Policarpa Salavarrieta, el reto técnico-académico fue mayor, dada la necesidad inicial de asimilar cómo operan las diferentes tecnologías implementadas. Sin embargo, el acompañamiento técnico brindado por la empresa privada asesora, resultó clave para garantizar el éxito de este procesos productivo y formativo.

Las diferentes charlas y capacitaciones dictadas a los estudiantes del colegio pretendieron familiarizarlos con las diferentes actividades que conllevan las explotaciones agrícolas, no solo en el contexto de la agricultura protegida, sino en la producción de alimentos con diferentes métodos de productividad agrícola. Las actividades de socialización y capacitación permiten acercar a los estudiantes y a la comunidad en general al reconocimiento y comprensión del porqué y para qué de las labores agrícolas dentro de un cultivo, desde el uso de los elementos de protección personal, herramientas, material vegetal, equipos y tecnologías, labores culturales, entre otros. Según lo menciona el Ministerio de Educación Nacional (2018): "una de las grandes ventajas que tienen los estudiantes al cursar la educación media enfocada en el sector agropecuario impulsa al descubrimiento y desarrollo de habilidades para su proyecto de vida, es decir, podrán tener un direccionamiento hacia habilidades emocionales y cognitivas, a partir de los proyectos y trabajos agropecuarios desarrollados dentro y fuera del aula".

A través de las labores prácticas, los estudiantes de los grados décimo y undécimo reconocieron y aplicaron los conocimientos compartidos en aras de generar la continuidad de las labores y actividades de producción agrícola en el CIIAT a corto, mediano y largo plazo, convirtiéndose en eslabones de capacitación y desarrollo de prácticas productivas ante el resto de la comunidad escolar. Incluso, reportes como la presencia de ***Ralstonia solanacearum*** en el cultivo de tomate monitoreado, no solo es un aporte relevante desde el punto de vista técnico y del manejo fitopatológico de la producción en cualquier agroecosistema (Velasco-Belalcázar & Hernández-Medina, 2025), sino que son el tipo de datos que aportan conocimiento en la enseñanza pedagógica de la fitopatología en estudiantes de diferentes grados escolares o comunidad en general (Velásquez-Murcia, 2024).

Respecto a la transferencia de conocimiento, durante la semana 10 se atendió una visita teórico-práctica de los grupos del curso Fisiología Vegetal, del IV semestre del programa Ingeniería Agronómica, Universidad de Cundinamarca (extensión Facatativá) (figura 5). En esta visita se revisó el cultivo con los estudiantes y se discutieron los aspectos fitosanitarios presentes, entre ellos, el entorchamiento o encucharamiento, y necrosis de las hojas del tercio medio y bajo de las plantas. Adicionalmente, se orientó la capacitación en toma y análisis de datos por parte de los investigadores Jhostyn Quinayas-Fandiño y Diego A. Hernández-Contreras. La realización de este tipo de ejercicios pedagógicos, en contextos productivos reales o institucionales resulta fundamental, no solo para la formación de profesionales o bachilleres (Calderón-Ricardo & Hernández-Contreras, 2022), sino que promueve la comprensión y discusión interdisciplinarios de procedimientos que a la postre pueden potenciar la enseñanza (Velásquez-Murcia, 2024), y la misma productividad de un agroecosistema. En este orden de ideas, el CIIAP se constituye en un centro de enseñanza y de transferencia de conocimientos que puede ser visitado por diferentes instituciones nacionales e internacionales, de orden público y privado, para fortalecer la productividad de sus cultivos mediante el diálogo e intercambio de saberes desde diferentes niveles académicos, técnicos, investigativos y comunitarios.

Figura 5.
Visita del curso de Fisiología Vegetal del programa Ingeniería Agronómica de la Universidad de Cundinamarca (Facatativá) durante la semana 10.

Fuente: Quinayas-Fandiño, 2024.

Conclusiones y recomendaciones

La experiencia presentada en este documento, es un punto de partida valioso para la producción de diferentes hortalizas y frutales de ciclo corto-medio, que el colegio pretende implementar en el CIIAP. Los datos que este trabajo aporta indican cómo se comporta un cultivo de solanáceas en un invernadero automatizado y qué tan productivo puede ser, reconociendo variables de monitoreo y estableciendo metodologías específicas para un sistema de producción de tomate variedad San Marzano. Así, la presente investigación constituye el primer proceso productivo tecnificado en el CIIAP y buscar ser un piloto para el establecimiento de este y otros cultivos a futuro, que enriquezcan el desarrollo pedagógico agrícola de la comunidad escolar, enfocados a la producción de alimentos.

Se recomienda adoptar estrategias pedagógicas desde las diferentes asignaturas cursadas por los estudiantes de la IEMTA, que vinculen procesos productivos desarrollados en el invernadero automatizado para que la comunidad académica (incluidas las familias de los

estudiantes), reconozca la aplicabilidad de diferentes áreas del conocimiento (como matemáticas, ciencias naturales, química, entre otras) en contextos reales. Finalmente, futuros esfuerzos deben articularse con otros actores externos, como universidades, centros de formación técnica y tecnológica, empresas productoras locales, etc., dando un panorama más amplio de este campo del conocimiento ante las personas que están en proceso de elección de su proyecto de vida.

Agradecimientos

A la Institución Educativa Municipal Técnica Agropecuaria Policarpa Salavarrieta, en particular a la rectora, Mery Ortiz Galeano, por permitir el desarrollo de esta investigación en sus instalaciones y al profesor Álvaro Enrique Veloza Rodríguez por su orientación en la implementación y manejo del cultivo. A la empresa Sáenz Fety por otorgar el material vegetal, el sustrato utilizado en esta investigación y las capacitaciones orientadas a la comunidad escolar. A Diana N. Duque-Gamboa (Universidad de Cundinamarca) por su revisión crítica de la versión inicial del manuscrito. A Danny Daniel Cubillos Pedraza y María Paula Jiménez (Universidad de Cundinamarca) por su colaboración en la determinación del agente causal de la marchitez bacteriana. Dedicamos este trabajo a la comunidad estudiantil del colegio Policarpa Salavarrieta por su disposición y su interés en todas las etapas de este proyecto, principalmente a los grados 9°, 10° y 11° de la promoción 2024 por su apoyo en las labores desarrolladas en el invernadero.

Declaración de originalidad y carácter inédito del manuscrito

Los autores declaran que este manuscrito es original, inédito y no ha sido publicado ni está siendo evaluado para publicación en otra revista. Todos los autores han contribuido significativamente al manuscrito y aprueban su envío.

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés relacionados con este manuscrito.

Referencias Bibliográficas

Bojacá, C., Wyckhuys, K., & Schrevens, E. (2014). Life cycle assessment of Colombian greenhouse tomato production based on farmer-level survey data. ***Journal of Cleaner Production, 69***, 26-33. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.078

Canal Trece. (2024). ***Colegio departamental de Facatativá produce plántulas***. Canal Trece Colombia. Recuperado el 30 de abril de 2026, de https://canaltrece.com.co/noticias/colegio-departamental-de-facatativa-produce-plantulas/

Calderón-Ricardo, C., & Hernández-Contreras, D. (2022). Unidad agroambiental El Vergel, campo de aprendizaje para la formación de profesionales en Ciencias Agrarias de la Universidad de Cundinamarca, vereda Mancilla, Facatativá: estudio de caso prepandemia. ***Ciencias Agropecuarias***, ***8***(2), 23–47. https://doi.org/10.36436/24223484.698

Cardona-Reyes, M., Pérez-Jimenez, K., & Castañeda-Rodríguez, L. (2025). Modelación del crecimiento de plántulas de lechuga (***Lactuca sativa*** L. var. ***crispa***) sembrada en distintos sustratos y con diferentes aplicaciones de riego. ***Ciencias Agropecuarias***, ***11***(1), 11–32. https://doi.org/10.36436/24223484.729

Consorzio del Pomodoro San Marzano DOP. (2026). ***Coltivazione del Pomodoro San Marzano DOP***. Recuperado el 7 de mayo de 2026, de https://consorziopomodorosanmarzanodop.it/coltivazione-pomodoro-san-marzano-dop/

DANE. (2022). ***Producción de cultivos de tomate en Colombia, 2020-2022***. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Recuperado de https://www.dane.gov.co

Embajada del Japón en Colombia. (2022). ***Japón coopera la enseñanza técnica agrícola para la institución educativa en Facatativá, Cundinamarca***. Recuperado el 30 de abril de 2026, de https://www.colombia.emb-japan.go.jp/itpr_es/20221103firmabiblio_00001.html

Embajada del Japón en Colombia. (2024). ***Japón coopera para la construcción de un invernadero para una institución Educativa Técnica Agropecuaria en Facatativá, Cundinamarca***. Recuperado el 30 de abril de 2026, de https://www.colombia.emb-japan.go.jp/itpr_es/2024eduFacatativa.html

FAO. (2013). ***FAOSTAT – Food and agriculture data***. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado el 14 de abril de 2026, de https://www.fao.org/faostat/en/#home

FAO. (2024). ***Crop Production, yield, harvested area (Global - National - Annual). FAOSTAT – Food and agriculture data***. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado el 14 de abril de 2026, de https://www.fao.org/faostat/en/#home

Fonseca, D., & Calderón-Ricardo, C. (2021). Efecto del producto biofertmex (***Glomus*** sp) en el desarrollo y producción de un cultivo de espinaca (***Spinacia oleracea***) en Zipaquirá, Cundinamarca. ***Ciencias Agropecuarias***, ***7***(2), 45–58. https://doi.org/10.36436/24223484.379

Fonseca, J., Castañeda, A., Escarraga, J., & Cubillos, D. (2019). Caracterización de enfermedades fitopatógenas en el cultivo de tomate de árbol (***Solanum betaceum***) en la finca el reposo en el municipio Facatativá, Cundinamarca. ***Ciencias Agropecuarias***, ***5***(1), 24–31. https://doi.org/10.36436/24223484.192

Fonseca, A., & Ramos, J. (2019). Implementación sistema de invernadero automatizado para producción de multicultivos agrícolas educativos en el SENA de Mosquera. ***#ashtag***, ***14***, 31-38. https://doi.org/10.52143/2346139X.646

Garay-Pardo, F., Ruiz-Peñuela, A., Infante-Díaz, L., Neira-Ramos, D., & González-Román, R. (2025). Chips de guatila (***Sechium edule***) y balú (***Erythrina edulis***) para fortalecer la sustentabilidad agrícola en Guayabal de Síquima, Cundinamarca. Ciencias Agropecuarias, 11(2), 31–48. https://doi.org/10.36436/24223484.738

Gobierno de México (2017). ***Tomate rojo o jitomate: ¿Cómo lo llaman donde radicas?*** Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Recuperado de: https://www.gob.mx/siap/articulos/tomate-rojo-o-jitomate-como-lo-llaman-donde-radicas

Melis, A., & Gopar, A. (2019). ***Plagas y enfermedades del tomate***. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa. https://repo.unlpam.edu.ar/items/461a8b14-8098-41d0-99a9-fdd62ffc0719

Ministerio de Educación Nacional. (2018). ***Guía de uso de dotaciones pedagógicas: Fascículo IV. Educación media: con énfasis o especialidad agropecuaria***. Recuperado de https://www.colombiaaprende.edu.co

Perilla, A., Rodríguez, L. F., & Bermúdez, L. T. (2012). Estudio técnico-económico del sistema de producción de tomate bajo invernadero en Guateque, Sutatenza y Tenza (Boyacá). ***Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas***, ***5***(2), 279-294.

Sáenz Fety. (2024). ***Ficha técnica: Tomate San Marzano*** [Ficha técnica]. Sáenz Fety S.A.S. Recuperado de https://www.saenzfety.com

Scarlato, M., Bao, L., Rossing, W. A. H., Dogliotti, S., Bertoni, P. & Bianchi, F. J. J. A. (2023). Flowering plants in open tomato greenhouses enhance pest suppression in conventional systems and reveal resource saturation for natural enemies in organic systems. ***Agriculture, Ecosystems & Environment, 347***, 108389. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108389

SED Facatativá. (2024). I.***E.M. Técnica Agropecuaria Policarpa Salavarrieta***. Secretaría de Educación de Facatativá. Recuperado el 25 de marzo de 2026, de https://sedfacatativa.gov.co

Soto, I., Barnes, A., Balafoutis, A., Beck, B., Sánchez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., Van Der Wal, T., Eory, V., & Gómez, M. (2019) ***The contribution of precision agriculture technologies to farm productivity and the mitigation of greenhouse gas emissions in the EU***. JRC Technical Reports. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/016263

Suazo, B., Martínez, S., Puig, M., Maiale, S., & Garbi, M. (2023). Periodo de cosecha y producción de tomate (***Solanum lycopersicum*** L.) injertado y conducido a más de un eje, bajo invernadero. ***Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, 39***(1), 23-34. https://doi.org/10.29393/CHJAA39-3PCBM50003

Velasco-Belalcázar, M., & Hernández-Medina, C. (2025). Bacterias rizosféricas antagónicas de ***Fusarium oxysporum*** en la granja UNIMINUTO, Villavicencio, Meta, Colombia. ***Ciencias Agropecuarias***, ***11***(1), 53–64. https://doi.org/10.36436/24223484.782

Velásquez-Murcia, S. (2024). Revisión de experiencias pedagógicas en la enseñanza de la fitopatología. ***Ciencias Agropecuarias***, ***10***(1), 17–34. https://doi.org/10.36436/24223484.592

Viteri, M., & García, M. (2013). ***Tomate y lechuga: importancia productiva y comercial***. Estudios Socioeconómicos de los Sistemas Agroalimentarios y Agroindustriales, No. 14. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://hdl.handle.net/11336/3571

Anexo 1.
Plan de fertilización (por fertiirrigación) del cultivo de tomate San Marzano.

Momento	Producto	Cantidad	Elemento aportado
Hidratación y acondicionamiento de sustrato/plántulas (Día 1, semana 0)	Calcinit Zn	736 g	Ca, Ni, Zn
	EDTA - Fe	4,8 g	Fe
	Nitrato de potasio	75 g	Ni, K
	Fosfato monopotásico	35 g	P, K
	Sulfato de potasio	109 g	K, S
	Sulfato de magnesio	100 g	Mg, S
	Klip Boro	0,7 g	B
	Sulfato de cobre	0,2 g	Cu, S
	Sulfato de manganeso	1,2 g	Mn, S
	Molibdato de sodio	0,3 g	Mo
Desarrollo vegetativo (Semanas 1-13)	Calcinit Zn	1068 g	Ca, Ni, Zn
	EDTA - Fe	33 g	Fe
	Nitrato de potasio	735 g	Ni, K
	Fosfato monopotásico	385 g	P, K
	Sulfato de manganeso	33 g	Mn, S
	Sulfato de magnesio	630 g	Mg, S
	Sulfato de zinc	12 g	Zn, S
	Sulfato de cobre	10 g	Cu, S
	Klip Boro	20 g	B
	Molibdato de sodio	0,2 g	Mo
Etapa productiva (Semanas 14-15)	Ácido fosfórico	7 mL	P
	Sulfato de potasio	580 g	K, S
	Fosfato monopotásico	10g	P, K
	Nitrato de potasio	210 g	Ni, K
	Fosfato monoamónico	28 g	P, K
	Sulfato de magnesio	540 g	Mg, S
	Nitrato de calcio	1010 g	Ni, Ca
	EDTA - Fe	38 g	Fe
	Ácido bórico	4 g	B
	Sulfato de manganeso	3,2 g	Mn, S
	Sulfato de zinc	0,7 g	Zn, S
	Sulfato de cobre	1 g	Cu, S
	Molibdato de sodio	0,1 g	Mo

Fuente: Quinayas-Fandiño, 2024.