

FERTILIZACIÓN SINTÉTICA, ORGÁNICA Y BIOFERTILIZANTES EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN INVERNADERO

Leonel García-Álvarez¹; Rodolfo de la Rosa-Rodríguez¹; Martha P. España-Luna^{1,2}
Ma. del R. Martínez-Blanco¹ y Alfredo Lara-Herrera²

RESUMEN

El cultivo de tomate en ambiente protegido se nutre fundamentalmente con fertilizantes sintéticos. En esta investigación se evaluó el efecto de la fertilización sintética, orgánica y los biofertilizantes sobre el índice de clorofila, variables de crecimiento y en la producción y calidad de los frutos, en plantas de tomate cultivadas en condiciones de invernadero. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con arreglo factorial, y se evaluaron dos factores: i) fertilización, cuyos niveles fueron: a base de fertilizantes sintéticos, se aplicó solución nutritiva Steiner al 100 % (SN100) y al 50 % (SN50) de concentración; aplicación de fertilizante orgánico (FO) y su combinación con la fertilización sintética al 50 % (SN50 + FO); y, ii) biofertilización con el consorcio *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* y *Glomus intraradices*. Los niveles fueron la aplicación en siembra (BS), en el trasplante (BT), en siembra y trasplante (BST) y sin inoculación (SM). Con el testigo (SN100 x SM) las plantas tuvieron mayor crecimiento, rendimiento y calidad de los frutos; con la fertilización mineral al 50 % (SN50) se obtuvieron valores inferiores al testigo, pero el menor rendimiento se presentó con la FO. No se presentaron diferencias en el factor biofertilizante. Con la interacción SN50 + FO x BST (solución nutritiva al 50 %, fertilización orgánica e inoculaciones en la siembra y en el trasplante) el rendimiento de frutos fue estadísticamente igual al testigo. Por esa razón se concluye que esta interacción, es una alternativa para mantener la productividad de cultivos de tomate en sistemas intensivos.

Palabras clave adicionales: *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*, *Glomus intraradices*, fertilizantes orgánicos, solución nutritiva.

ABSTRACT

Synthetic, organic fertilization and biofertilizers in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation in greenhouse

Tomato crop in protected environments relies primarily on synthetic fertilizers. This research evaluated the effect of synthetic, organic, and biofertilizer fertilization on chlorophyll index, growth variables, and fruit production and quality in tomato plants grown under greenhouse conditions. The experimental design was a randomized complete block design with a factorial arrangement, and two factors were evaluated: i) fertilization, with the following levels: application of synthetic fertilizers, using Steiner nutrient solution at 100 % (SN100) and 50 % (SN50) concentrations; application of organic fertilizer (FO); and its combination with synthetic fertilization at 50 % (SN50 + FO); and ii) biofertilization with the consortium *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, and *Glomus intraradices*. The levels were application at sowing (BS), at transplanting (BT), at sowing and transplanting (BST), and without inoculation (SM). With the control (SN100 x SM), plants showed greater growth, yield, and fruit quality. With 50 % mineral fertilization (SN50), values were lower than the control, but the lowest yield was observed with FO. No differences were found in the biofertilizer factor. With the interaction SN50 + FO x BST (50 % nutrient solution, organic fertilization, and inoculations at planting and transplanting), fruit yield was statistically equal to the control. Therefore, it is concluded that this interaction is an alternative for maintaining the productivity of tomato crops in intensive systems.

Additional Keywords: *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Glomus intraradices*, organic fertilizers and nutrient solution.

Editor Asociado: Dra. Marina García De Almeida.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la

hortaliza más cultivada en el mundo y la de mayor valor económico (SIAP, 2024). En el manejo, los fertilizantes químicos que se utilizan en mayores

Recibido: Abril 27, 2025

Aceptado: Noviembre 30, 2025

¹Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, Zac. México.
e-mail: leonel_10319292@hotmail.com; rodo9003@gmail.com (autor de correspondencia); mpespanal@uaz.edu.mx
mrosariomb@uaz.edu.mx.

²Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, Zac. México.
e-mail:alara204@hotmail.com.

cantidades son los nitrogenados, fosforados y potásicos (FAOSTAT, 2024). Los riesgos de los daños que éstos pueden causar al suelo y al medio ambiente son la disminución de la materia orgánica, alteración en la estructura física, acidificación, proliferación de plagas, compactación, disminución de la aireación y la capacidad de almacenamiento de agua, acumulación de sales minerales, inducción de desbalances entre los nutrimentos para los cultivos y eutrofización en masas de agua; por ello, es importante disminuir el uso de estos productos para mejorar la salud del suelo y de las plantas (Nadarajan y Sukumaran, 2021).

Una alternativa sostenible para aportar nutrimentos a los cultivos son los abonos orgánicos (Olasekan *et al.*, 2022; Tahiri *et al.*, 2022; Farias *et al.*, 2025); si bien en los invernaderos no está permitido el uso de estiércoles, con el fin de minimizar los problemas de tipo químico y microbiológico (Ravindran *et al.*, 2017; Zou *et al.*, 2022), el uso de abonos previamente humificados, e. g. compostas y vermicompostas, son de gran importancia porque benefician las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como, por ejemplo, la disminución de la erosión, el incremento de la retención de agua, la regulación de la temperatura del suelo y el aumento de la capacidad de intercambio catiónico (Alvarado *et al.*, 2023).

Los fertilizantes químicos son la principal fuente de nutrimentos para los cultivos hortícolas en invernadero (Olasekan *et al.*, 2022); sin embargo, la inoculación con microorganismos benéficos es una alternativa biológica que puede contribuir a aportarlos. Entre estos microorganismos, las micorrizas y las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) son las más utilizadas con este fin (Tahiri *et al.*, 2022). El género *Bacillus* presenta propiedades importantes para las plantas como, por ejemplo: i) bioestimulante al producir auxinas; ii) bioprotector, al producir potentes compuestos bioactivos y metabolitos que inhiben el desarrollo de fitopatógenos; iii) biofertilizante, al solubilizar fósforo, potasio y zinc, además de generar sideróforos quelantes de hierro; y, iv) también presenta sinergismo con los hongos micorrízicos (Galindo *et al.*, 2023; Kumar *et al.*, 2024).

Por su parte, las rizobacterias del género *Azospirillum* se consideran biofertilizantes porque

tienen la capacidad de ser fijadoras de nitrógeno atmosférico, así como de funcionar como agentes estimulantes gracias a la producción de fitohormonas (Moreno *et al.*, 2018; Beltrán y Bernal, 2022). Por su parte, los beneficios que proveen los hongos micorrízicos arbusculares del género *Glomus* en las plantas, son el incremento de la capacidad para adquirir y asimilar nutrientes para la fotosíntesis; aumenta la zona de exploración de las raíces permitiendo una mayor absorción de agua y nutrientes N, P y K; contribuye a mejorar el desarrollo y crecimiento de las plantas, así como el rendimiento, y ayuda a mitigar el estrés en diversas condiciones adversas (estrés abiótico); también induce resistencia gracias a la producción de osmoprotectores y metabolitos secundarios (bioprotectores) (Slimani *et al.*, 2022; Jalal y Hajiboland, 2024).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización sintética y orgánica combinada con la inoculación de biofertilizantes, sobre el índice de clorofila, crecimiento de las plantas de tomate y en la producción y calidad de los frutos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental. La investigación se desarrolló desde el 14 de marzo al 4 de noviembre del año 2023, en una nave de invernadero tipo túnel de 200 m², con un sistema de control diurno de temperatura y humedad relativa, con renovación del aire caliente y seco, por aire fresco y húmedo. El invernadero se ubica en las coordenadas 22° 43' 40" N y 102° 40' 55" W a una altitud de 2237 m.s.n.m. El suelo presentó las siguientes características: pH 7,63; conductividad eléctrica (CE) 1,05 dS m⁻¹; materia orgánica 2,08 %; textura franca; aniones (ppm): nitratos 328,60; fosfatos 2,48; sulfatos 38,42; carbonatos 0,00; bicarbonatos 170,83; cloruros 63,81; cationes (ppm): sodio 25,00; potasio 54,00; calcio 125,00 y magnesio 21,00.

Materiales biológicos. Se utilizó el tomate tipo Saladette, de crecimiento indeterminado, variedad SVTJ7518, de la empresa Seminis®. El conjunto de biofertilizantes contenía: 10,000 esporas/mL del hongo micorrízico arbuscular *Glomus intraradices*, 100 millones de UFC/mL de *Azospirillum brasilense* y 10 millones de UFC/mL de *Bacillus subtilis*. Estos biofertilizantes son

García *et al.* Fertilización sintética, orgánica y biofertilizantes en el cultivo de tomate

comercializados por la empresa Biogea®.

Factores y tratamientos evaluados. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar en el que se evaluaron los factores: fertilizantes (sintético y orgánico) y biofertilizantes. El factor fertilizante incluyó cuatro niveles, que consistieron en: (a) fertilización sintética al 100 %; (b) fertilización sintética al 50 %; (c) fertilización orgánica (FO); y, (d) fertilización sintética al 50 % y orgánica (SN50 + FO). El factor biofertilizante también tuvo cuatro niveles, los cuales correspondieron a

los momentos de las inoculaciones: (a) no inoculación (sin microorganismos, SM); (b) biofertilización en la siembra (BS); (c) biofertilización en el trasplante (BT); y, (d) biofertilización en la siembra y en el trasplante (BST). Se tuvieron 16 tratamientos (4x4=16), con tres repeticiones por tratamiento. El tratamiento testigo, correspondió a una solución nutritiva completa y balanceada (SN) (Solución nutritiva Steiner) al 100 % sin la inoculación de microorganismos (SN100 x SM), adaptada a cada etapa de desarrollo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la fertilización química, orgánica y de la biofertilización en distintos momentos de aplicación, sobre el crecimiento, la producción y calidad de frutos de tomate.

Factores		Tratamientos
Fertilizante	Biofertilizantes	
Solución nutritiva Steiner al 100 % (SN100)	Sin microorganismos (SM)	SN100 x SM (Testigo)
	Biofertilizantes en la siembra (BS)	SN100 x BS
	Biofertilizantes en el trasplante (BT)	SN100 x BT
	Biofertilizantes en la siembra y trasplante (BST)	SN100 x BST
Solución nutritiva Steiner al 50 % (SN50)	Sin microorganismos (SM)	SN50 x SM
	Biofertilizantes en la siembra (BS)	SN50 x BS
	Biofertilizantes en el trasplante (BT)	SN50 x BT
	Biofertilizantes en la siembra y trasplante (BST)	SN50 x BST
Fertilización orgánica (FO)	Sin microorganismos (SM)	FO x SM
	Biofertilizantes en la siembra (BS)	FO x BS
	Biofertilizantes en el trasplante (BT)	FO x BT
	Biofertilizantes en la siembra y trasplante (BST)	FO x BST
Solución nutritiva Steiner al 50 % y fertilización orgánica (SN50 + FO)	Sin microorganismos (SM)	SN50 + FO x SM
	Biofertilizantes en la siembra (BS)	SN50 + FO x BS
	Biofertilizantes en el trasplante (BT)	SN50 + FO x BT
	Biofertilizantes en la siembra y trasplante (BST)	SN50 + FO x BST

Manejo del cultivo. La siembra se realizó el 14 de marzo de 2023, en charolas de poliestireno de 242 cavidades de 25 mL (2x2x6,2 cm) por celda, con el sustrato QTS 2 Xtra Substrate de Compaqpeat 250® que contiene 40 % de turba mediana, 40 % de fibra de coco y 20 % de perlita. Las charolas donde no se inocularon los microorganismos, se llenaron con una suspensión de 1 L de agua destilada en 6 L de sustrato, y se añadieron 2 mL del consorcio de los biofertilizantes con los tres microorganismos. Durante el crecimiento de las plántulas el manejo

del riego y la fertilización se efectuó conforme al procedimiento propuesto por Tahiri *et al.* (2022).

La elaboración de las soluciones nutritivas se realizó tomando en cuenta el análisis del agua de riego, la que presentó las siguientes propiedades: pH 8,63; CE 0,51 dS·m⁻¹; aniones (meq·L⁻¹): nitratos 0,13; fosfatos 0,02; sulfatos 0,10; carbonatos 0,80; bicarbonatos 3,20; cloruros 1,20; cationes (meq·L⁻¹): sodio 2,7; potasio 0,61; calcio 1,60 y magnesio 0,33. La solución nutritiva al 100 % se preparó con base en Steiner (1984) y tomando en cuenta la CE para cada etapa fenológica del

cultivo. Para obtener la solución nutritiva al 50 %, se partió de la concentración de la SN al 100 % de los fertilizantes y sólo se añadió la mitad de éstos. Las fuentes de fertilización empleadas fueron ácido fosfórico (H_3PO_4), ácido sulfúrico (H_2SO_4), nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), nitrato de potasio (KNO_3), sulfato de potasio (K_2SO_4), sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), nitrato de amonio (NH_4NO_3) y los micronutrientes B, Fe, Mn, Zn y Cu, los últimos cuatro quelatados con EDTA.

La composta aplicada presentó las siguientes características: pH 9,15; CE 9.36 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$; materia orgánica 42,16; relación carbono/nitrógeno 56,88; aniones (ppm): nitratos 425,14; fosfatos 3600,00; sulfatos 11600,00 y cloruros 2836,00; cationes (ppm): sodio 1350,00; potasio 14100,00; calcio 6000,00 y magnesio 3300,00; microelementos (ppm): Fe 3600; Zn 55,00; Cu 25,00; Mn 206,00 y B 83,00.

Parámetros medidos en las plantas. Longitud de tallo (LT): Se determinó con un flexómetro (Truper®) en cada planta. Diámetro de tallo (DT): Se midió el tallo principal a 1 cm de altura del suelo utilizando un vernier digital (Mitutoyo®). Índice de clorofila (IC): Se determinó con el equipo Spad (modelo 502, Minolta®) en cinco folíolos de la hoja más recientemente desarrollada, se tomó el promedio por planta, la medición se realizó a las 12 semanas después del trasplante (SDT). Número de hojas (NH) y de racimos (NR): Se cuantificaron contando, manualmente, cada una de las hojas y racimos de la planta; el peso fresco (PFT): se cortaron las plantas al nivel del suelo, se retiraron las hojas y racimos completos, el tallo se pesó con una balanza digital (AND E-200i) y después se deshidrató a $68 \pm ^\circ\text{C}$ en una estufa (Felisa®) hasta peso constante; después, se pesó nuevamente el tejido obteniéndose el peso seco de tallo (PST). Estos parámetros se determinaron al final del ciclo del cultivo a las 26 SDT.

Medición de la calidad y producción de los frutos. Se realizaron las siguientes determinaciones tomando en cuenta el promedio de los frutos de los racimos 3, 4, 7 y 8. Diámetro ecuatorial y polar de frutos (DE y DP): se midió el DE y DP de cada uno de los frutos de tomate con un vernier digital (Mitutoyo®). Firmeza (Fi): se utilizó un penetrómetro analógico (QA Supplies FT011®) con el que se midió la fuerza necesaria para introducir el émbolo en la sección ecuatorial

de los frutos de tomate. CE: se determinó con un conductímetro digital (Hach®) introduciendo el sensor del aparato en el jugo de una de las mitades del fruto de tomate para luego tomar la lectura. pH del jugo de tomate (pH): se midió introduciendo el electrodo del potenciómetro digital (IQ 150 Spectrum®) en el jugo de una mitad de tomate. Sólidos solubles totales (SST) expresados en grados Brix: se utilizó un refractómetro digital (Atago®); a una de las mitades del fruto de tomate se le extrajo una gota del jugo la que se colocó en el refractómetro para tomar la lectura. Número de frutos por planta (NFT): los frutos fueron contados, manualmente, en cada racimo y se calculó el total por planta. Peso promedio de los frutos (PPF): se determinó utilizando una balanza digital (AND E-K200i®); posteriormente, se calculó el peso promedio por fruto. Rendimiento (Ren): es la suma de los pesos de los frutos de cada corte.

Análisis estadístico. Las variables medidas se evaluaron mediante un análisis estadístico con un diseño experimental en bloques completos al azar, con un arreglo factorial completo, donde se realizó un análisis de varianza de cada uno de los factores considerados y de la interacción entre los factores; además, se efectuaron pruebas de separación de medias (Tukey, $p \leq 0,05$) para aquellas variables que resultaron con diferencias significativas dentro de cada factor, así como en las interacciones evaluadas en el experimento. Los análisis se llevaron a cabo con el programa estadístico de InfoStat, Versión 2020.

RESULTADOS

Variables de crecimiento de las plantas. Para cada variable, durante el crecimiento de la planta, en el factor fertilizante hubo diferencias ($p \leq 0,05$), donde IC, LT, DT, NR, PFT y PST el mayor valor fue con la SN100, siguiendo en orden descendiente la SN50 y FO + SN50; pero los menores valores se presentaron con el nivel del factor fertilización FO. El parámetro NH sólo fue menor con el nivel FO (Cuadro 2).

Para el factor biofertilizante no hubo diferencias entre los niveles. En la interacción de los factores biofertilizante por fertilizante, se presentaron diferencias en todos los parámetros, donde los menores valores fueron con la FO, sin microorganismos (SM) y con la adición de

microorganismos en los diferentes momentos de aplicación (BS, BT, BST). Las variables IC, LT, DT, NR, PFT y PST mostraron un comportamiento muy similar entre ellas, destacando los mayores valores en las combinaciones SN100 x SM, SN50 x SM y FO + SN50 x SM, que fueron diferentes estadísticamente respecto a las combinaciones de biofertilizantes (SM, BS, BT y BST) cuando se combinaron con FO; es decir, en todos los casos donde se presentó FO pero no se combinó con SN50. En cambio, el NH presentó un comportamiento diferente, donde el mayor valor destacó en el nivel FO + SN50 x BT, aunque estadísticamente sólo fue superior a FO x BS y FO x BST (Cuadro 2).

En las variables evaluadas donde estuvo presente el nivel de la SN100, en el factor fertilizante, los resultados mostraron los mayores valores ($p \leq 0,05$); en cambio en la interacción, en los niveles donde estuvo presente la SN50 con o sin biofertilizantes y con o sin FO, los resultados de IC, LT, NH y NR fueron estadísticamente iguales a los obtenidos con la solución nutritiva Steiner al 100 % (Cuadro 2).

Calidad de los frutos. Para el factor fertilizante hubo diferencias en todas las variables; los mayores valores se presentaron en el DE, DP y Fi en la SN100 con el 48,44 %, 50,24 % y 54,42 %, respecto a la fertilización orgánica, respectivamente. Le siguió en orden descendiente la SN50 y FO + SN50, pero los menores valores se observaron con el nivel del factor fertilización FO. En el análisis del factor biofertilizante sólo se presentaron diferencias en el DE y el pH, donde el mayor valor lo presentó la aplicación sin microorganismos (SM), pero sólo fue mayor que la inoculación en el trasplante (BT) (Cuadro 3).

La interacción biofertilizante por fertilizante presentó diferencias para todos los parámetros; para el DE y DP en las interacciones donde estuvo presente la SN100, SN50 y FO + SN50, estas fueron estadísticamente mayores que FO x SM, FO x BS, FO x BT, FO+SN50 x BT y FO x BST. Esto es, en la mayoría de los casos donde estuvo involucrada la SN (al 100 % o al 50 %) fueron mayores que las interacciones donde estuvo incluida la FO, pero no la SN. La Fi de los frutos muestreados, en general, fue mayor en las interacciones donde el factor fertilizante fue la SN, indistintamente del factor biofertilizante, y la

menor firmeza se presentó cuando el factor fertilizante fue FO combinado con el factor biofertilizante: SM, BS o BT (Cuadro 3).

En los parámetros CE, pH y SST el comportamiento fue igual; las diferencias consistieron en que sólo con el nivel de fertilización FO se presentó el menor valor. Por su parte, la CE fue mayor con las interacciones donde estuvo presente la SN100 en todos los niveles de biofertilizantes, SN50 x SM y FO + SN50 x BS, pero sólo fueron mayores a la interacción FO x SM, FO x BT y FO x BST. Para el pH, los mayores valores se presentaron en las interacciones SN50 x SM, FO + SN50 x SM, FO + SN50 x BS, le siguieron las interacciones SN100 x BT, SN100 x BS, SN100 x BST, FO + SN50 x BST, SN50 x BT, SN100 x SM y SN50 x BS, todas estas interacciones fueron estadísticamente mayores ($p \leq 0,05$) a: FO x SM, FO x BS, FO x BT y FO x BST. Esto es, en las interacciones donde se aplicó FO con cualquier etapa de inoculación del biofertilizante. Para los SST, la mayor concentración de azúcares se presentó en la interacción donde se aplicó la SN100 en cualquier nivel de la biofertilización (SM, BS, BT, BST), seguida de los niveles donde estuvo presente la SN50 y FO + SN50, las cuales fueron estadísticamente diferentes a todos los niveles al aplicar la FO que presentó los valores más bajos de azúcares en los frutos de tomate (Cuadro 3).

Producción de frutos. En el factor fertilizante se observaron diferencias ($p \leq 0,05$) en los tres parámetros. En NFT y Ren, el mayor valor fue con el nivel de la SN100; le siguió en orden descendiente la SN50 (26,81 % y 45,82 % respecto a la SN100, respectivamente) y FO + SN50; pero los menores valores se obtuvieron con el nivel de la FO con una diferencia del 81,88 y 86,72 % respecto a la SN100, respectivamente. Esto quiere decir que el fertilizante orgánico cuando no se combinó con SN, en todos esos casos, el parámetro medido fue menor al nivel de la fertilización SN100 y SN50. En el PPF también se tuvo el mayor valor en la SN100; pero cuando se fertilizó con la FO + SN50, los valores fueron estadísticamente iguales que SN100 ($p \leq 0,05$) y estadísticamente diferentes a la FO donde se presentaron los menores valores con una diferencia de 32,69 % respecto a la SN100 (Cuadro 4).

Cuadro 2. Efecto de cuatro niveles de fertilización, cuatro niveles de biofertilización y su interacción sobre el índice de clorofila (IC), longitud (LT) y diámetro de tallo (DT), números de hojas (NH) y de racimos (NR) y peso fresco (PFT) y seco de tallo (PST) de plantas de tomate desarrolladas en invernadero.

Factor/Nivel Fertilizante	IC (SPAD)	LT (cm)	DT (mm)	NH	NR	PFT (g·planta ⁻¹)	PST
Fertilizante							
SN100	51,33 a [†]	275,17 a	28,00 a	31,00 a	14,33 a	363,33 a	62,66 a
SN50	45,96 b	239,50 b	20,03 b	32,29 a	9,42 b	205,83 b	34,08 b
FO	29,75 c	130,81 c	11,16 c	24,56 b	6,04 c	55,42 c	6,28 c
FO + SN50	42,53 b	237,65 b	19,29 b	34,31 a	9,79 b	200,32 b	32,06 b
DMS	3,82	25,80	2,73	3,87	2,96	43,73	6,96
Biofertilizante							
SM	43,71 a	229,96 a	20,19 a	31,50 a	10,42 a	219,79 a	35,49 a
BS	41,42 a	222,08 a	19,36 a	30,42 a	9,96 a	209,37 a	34,63 a
BT	41,72 a	214,96 a	19,20 a	30,83 a	9,67 a	197,60 a	32,16 a
BST	42,71 a	216,13 a	19,73 a	29,42 a	9,54 a	198,12 a	32,80 a
DMS	3,82	25,80	2,73	3,87	2,96	43,73	6,96
Fer x BioFer							
SN100 x SM	50,17 a	274,01 a	26,84 a	29,84 abc	13,17 a	360,17 a	62,50 a
SN50 x SM	48,00 ab	245,17 a	20,80 ab	33,50 a	10,33 ab	213,33 b	35,62 b
FO x SM	31,43 cd	144,25 b	11,70 cd	26,25 abc	6,50 ab	62,50 cde	7,06 d
FO + SN50 x SM	44,07 ab	255,25 a	20,25 b	35,25 a	10,50 ab	240,00 b	36,64 b
SN100 x BS	52,16 a	279,00 a	28,83 a	31,83 abc	15,16 a	383,16 a	62,49 a
SN50 x BS	42,23 ab	240,67 a	19,77 b	34,33 a	9,33 ab	208,33 b	34,00 b
FO x BS	29,43 cd	124,67 b	11,60 cd	22,67 bc	6,00 b	55,83 de	5,80 d
FO + SN50 x BS	42,70 ab	247,83 a	18,07 bcd	33,67 a	10,17 ab	210,00 b	36,05 b
SN100 x BT	53,19 a	270,03 a	27,06 a	30,86 abc	14,19 a	363,19 a	61,52 a
SN50 x BT	46,50 ab	218,33 a	18,50 bc	27,50 abc	8,50 ab	186,67 b	32,08 b
FO x BT	30,30 cd	142,33 b	10,70 d	28,33 abc	6,33 ab	61,67 cde	7,47 cd
FO + SN50 x BT	38,77 bc	224,00 a	19,60 b	36,50 a	9,50 ab	178,75 bc	26,44 bc
SN100 x BST	51,29 a	269,01 a	27,34 a	30,04 abc	14,77 a	353,17 a	62,01 a
SN50 x BST	47,10 ab	253,83 a	21,03 ab	33,83 a	9,50 ab	215,00 b	34,63 b
FO x BST	27,83 d	112,00 b	10,63 d	21,00 c	5,33 b	41,67 e	4,78 d
FO + SN50 x BST	44,57 ab	223,50 a	19,23 b	31,83 ab	9,00 ab	172,50 bcd	29,13 b
DMS	10,47	70,72	7,48	10,62	8,10	119,90	19,10

[†] Medias con una letra común en cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$), Fer = Fertilizante, BioFer = Biofertilizante, SN100 = SN Steiner al 100 %, SN50 = SN Steiner al 50 %, FO = fertilización orgánica, SM = sin microorganismos, BS = biofertilizantes en la siembra, BT = biofertilizantes en el trasplante, BST = biofertilizantes en la siembra y el trasplante, DMS= diferencia mínima significativa.

Cuadro 3. Efecto de cuatro niveles de fertilización, cuatro de biofertilización y su interacción sobre los diámetros ecuatorial (DE) y polar (DP), la firmeza (Fi), la conductividad eléctrica (CE), el pH y los sólidos solubles totales (SST) de los frutos de tomate desarrolladas en invernadero.

Factor/Nivel	DE	DP	Fi	CE	pH	SST
Fertilizante	(mm)		(kg·cm ⁻²)	(dS·m ⁻¹)		(°Brix)
SN100	45,79 a [†]	57,69 a	4,41 a	1,07 a	3,95 a	6,24 a
SN50	39,29 b	49,45 b	3,68 b	0,90 a	3,66 a	5,60 a
FO	23,61 c	28,71 c	2,01 c	0,41 b	2,06 b	2,84 b
FO+SN50	39,14 b	49,49 b	3,68 b	0,93 a	3,57 a	5,62 a
DMS	4,75	6,28	0,51	0,20	0,39	1,05
Biofertilizante						
SM	39,54 a	48,85 a	3,39 a	0,88 a	3,47 a	5,14 a
BS	38,20 ab	48,14 a	3,58 a	0,86 a	3,37 ab	5,24 a
BT	33,56 b	42,70 a	3,16 a	0,80 a	3,03 b	4,66 a
BST	36,54 ab	45,65 a	3,65 a	0,76 a	3,37 ab	5,26 a
DMS	4,75	6,28	0,51	0,20	0,39	1,05
Fer x BioFer						
SN100 x SM	44,62 a	56,52 a	4,65 a	0,81 a	3,59 a	5,08 a
SN50 x SM	43,78 a	52,31 a	3,78 abc	1,06 a	4,10 a	6,19 a
FO x SM	22,60 e	27,13 e	1,50 d	0,41 bcd	1,84 d	2,36 d
FO + SN50 x SM	45,99 a	58,27 a	3,87 abc	1,00 a	3,98 a	5,77 ab
SN100 x BS	45,61 a	58,51 a	4,04 a	0,90 a	3,78 a	6,07 a
SN50 x BS	36,96 abcd	47,48 abc	3,88 abc	0,80 abcd	3,30 abc	4,88 abcd
FO x BS	27,28 cde	33,31 cde	1,97 d	0,53 abcd	2,20 d	3,20 bcd
FO + SN50 x BS	42,75 a	54,08 a	4,06 ab	1,04 a	4,03 a	6,64 a
SN100 x BT	45,84 a	57,54 a	4,27 a	0,93 a	3,81 a	6,40 a
SN50 x BT	40,38 ab	53,34 a	3,47 abc	0,95 ab	3,63 ab	5,43 abc
FO x BT	20,39 e	25,39 e	2,02 d	0,30 d	1,93 d	2,65 cd
FO + SN50 x BT	27,67 bcde	34,39 bcde	2,74 bcd	0,86 abc	2,63 bcd	4,34 abcd
SN100 x BST	46,62 a	56,12 a	4,15 a	1,00 a	3,69 a	6,28 a
SN50 x BST	36,04 abcd	44,65 abcd	3,59 abc	0,78 abcd	3,62 ab	5,90 ab
FO x BST	24,19 de	29,01 de	2,55 cd	0,39 cd	2,26 cd	3,17 bcd
FO + SN50 x BST	40,13 abc	51,24 ab	4,04 ab	0,81 abcd	3,65 ab	5,74 ab
DMS	13,03	17,22	1,39	0,55	1,08	2,87

[†] Medias con una letra común en cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$), Fer = Fertilizante, BioFer = Biofertilizante, SN100 = SN Steiner al 100 %, SN50 = SN Steiner al 50 %, FO = fertilización orgánica, SM = sin microorganismos, BS = biofertilizantes en la siembra, BT = biofertilizantes en el trasplante, BST = biofertilizantes en la siembra y el trasplante, DMS= diferencia mínima significativa.

La producción de tomate por efecto del factor biofertilizante no presentó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para NFT, PPF y Ren. En la interacción biofertilizante por fertilizante, los

tres parámetros mostraron diferencias; en el PPF, todos los niveles fueron estadísticamente iguales sólo diferentes al nivel FO x BT. Para el Ren, el mayor valor lo obtuvieron los niveles donde estuvo presente la SN100; sin embargo, los tratamientos FO + SN50 x BST, FO + SN50 x BS

y SN50 x SM, fueron estadísticamente iguales al tratamiento testigo (SN100 x SM), esto es importante porque con el tratamiento FO + SN50 x BST se presentó el rendimiento más cercano al de la SN100 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de cuatro niveles de fertilización, cuatro de biofertilización y su interacción sobre el número de frutos (NFT), el peso promedio por fruto (PPF) y el rendimiento (Ren) de frutos de tomate producidos en invernadero.

Factor/Nivel Fertilizante	NFT	PPF (g·fruto ⁻¹)	Ren (kg·planta ⁻¹)
SN100	59,33 a [†]	78,64 a	4,67 a
SN50	43,42 b	58,80 bc	2,53 b
FO	10,75 c	52,93 c	0,62 c
FO+SN50	40,00 b	68,59 ab	2,72 b
DMS	10,45	10,78	0,66
Biofertilizante			
SM	38,25 a	66,81 a	2,71 a
BS	39,08 a	69,02 a	2,80 a
BT	36,08 a	60,32 a	2,35 a
BST	40,08 a	62,81 a	2,69 a
DMS	10,45	10,78	0,66
Fer x BioFer			
SN100 x SM	56,85 a	75,61 a	4,20 a
SN50 x SM	43,67 ab	68,10 ab	2,97 ab
FO x SM	08,67 d	52,82 ab	0,48 e
FO + SN50 x SM	41,33 abc	67,69 ab	2,73 bc
SN100 x BS	58,82 a	77,54 a	4,49 a
SN50 x BS	40,67 abc	60,53 ab	2,45 bc
FO x BS	13,00 cd	62,97 ab	0,95 cde
FO + SN50 x BS	43,33 ab	73,92 ab	3,13 ab
SN100 x BT	57,94 a	76,81 a	4,52 a
SN50 x BT	44,33 ab	54,41 ab	2,38 bc
FO x BT	11,33 d	46,18 b	0,54 de
FO + SN50 x BT	29,33 bcd	62,06 ab	1,80 bcde
SN100 x BST	57,58 a	75,73 a	4,06 a
SN50 x BST	45,00 ab	52,13 ab	2,34 bcd
FO x BST	10,00 d	49,76 ab	0,52 e
FO + SN50 x BST	46,00 ab	70,70 ab	3,22 ab
DMS	28,64	29,55	1,80

[†] Medias con una letra común en cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$), Fer = Fertilizante, BioFer = Biofertilizante, SN100 = SN Steiner al 100 %, SN50 = SN Steiner al 50 %, FO = fertilización orgánica, SM = sin microorganismos, BS = biofertilizantes en la siembra, BT = biofertilizantes en el trasplante, BST = biofertilizantes en la siembra y el trasplante, DMS= diferencia mínima significativa.

DISCUSIÓN

Crecimiento de las plantas. La SN100 presentó los mayores resultados de manera general en todos los parámetros analizados. Para el IC, Fernández *et al.* (2021) reportan un rango de 44,64 a 50,87 unidades SPAD con la aplicación de fertilizante biorgánico, mineral, y su combinación; en el presente experimento esta variable mostró un rango de variación mayor entre 27,83 y 53,19 unidades SPAD respectivamente. Por su parte, los menores IC correspondieron a los tratamientos fertilizados únicamente con FO. En DT, Díaz *et al.* (2023) obtuvieron valores que van de 18,58 mm para la SN al 50 % y de 20,0 mm con SN al 125 %; los cuales son menores en 7,10 y 26,85 %, con respecto a los del presente estudio (Cuadro 2).

Crecimiento de las plantas. La SN100 presentó los mayores resultados de manera general en todos los parámetros analizados. Fernández *et al.* (2021) reportan un IC con un rango de variación sólo de diez unidades SPAD entre el valor más alto y el más bajo, con la aplicación de fertilizante biorgánico, mineral, y su combinación; mientras que en esta investigación se observó un rango de variación más amplio, pero con un valor promedio menor de unidades SPAD, donde los menores IC correspondieron a los tratamientos fertilizados únicamente con FO. En DT, hubo diferencias estadísticas entre las soluciones nutritivas utilizadas (SN50 y SN100) este comportamiento coincidió con Díaz *et al.* (2023) en variables de crecimiento, al utilizar soluciones nutritivas con concentración total y a la mitad de concentración en tomate.

En las variables LT y NH se alcanzaron valores con comportamientos similares a IC y DT, obteniéndose los valores más bajos con FO y sin microorganismos. Espinosa *et al.* (2019), también lograron mayor LT y NH utilizando *Bacillus paralicheniformis* y *Pseudomonas lini*. Por su parte, Xiao *et al.* (2015) indicaron que cuando se redujo 66 % la dosis de fertilizantes nitrogenados y se usaron los microorganismos *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* en el cultivo de tomate, la LT fue comparable a los tratamientos con fertilización completa sin la aplicación de microorganismos; este comportamiento es atribuible al efecto bioestimulante por parte de los microorganismos empleados (Beltrán y Bernal, 2022; Kumar *et al.*, 2024) (Cuadro 2).

Calidad y producción de los frutos. Entre los niveles de la fertilización sintética no se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) en la calidad de los frutos, lo cual coincide con Sánchez *et al.* (2023), quienes tampoco encontraron diferencias entre los niveles de la concentración de la SN al 100, 75 y 50 % para las variables DE, DP, NFT y PPF; sin embargo, estos tres niveles fueron diferentes estadísticamente ($p \leq 0,05$) con la SN al 25 %, semejante a lo obtenido en este experimento con la fertilización orgánica donde la concentración de nitrógeno es baja, con base en el IC.

El valor más alto de SST (°Brix) se presentó en el nivel de la interacción FO + SN50 x BS con 6,24 °Brix, seguido por las interacciones de la SN100; esto representa 33,5 y 23,1 % mayor que los resultados de Sánchez *et al.* (2023) y de Espinosa *et al.* (2019), respectivamente.

En la variable Fi, la SN100 presentó el mayor valor en el factor fertilizante. Por su parte, los mayores valores en la interacción fertilizante-biofertilizante en todos los momentos de aplicación de microorganismos los obtuvieron el testigo y la SN50. La FO, fue la de los valores más bajos en los tratamientos evaluados (Cuadro 3). Resultados similares se observaron con la variable SST debido a que se obtuvieron los valores más altos sólo cuando se aplicó SN100 y SN50. Los resultados de la presente investigación también fueron mayores que los promedios de Díaz *et al.* (2023) para las mismas variables, a distinta concentración nutrimental y tratamientos.

El factor biofertilizante no presentó diferencias significativas para PPF. Para la misma variable, la SN100 fue superior en combinación con los biofertilizantes en todos los momentos de aplicación; sin embargo, el factor fertilizante FO+SN50 mostró los mayores valores junto con el testigo en comparación al resto de las fertilizaciones utilizadas. Los resultados de esta investigación fueron similares a los de Espinosa *et al.* (2019) quienes utilizaron inoculación de microorganismos en combinación con distintas soluciones nutritivas; pero difirieron de los resultados de Palacio *et al.* (2022) quienes también emplearon inoculación de rizobacterias en condiciones de casa sombra. Es oportuno indicar que las tendencias descritas también dependen de las propiedades genéticas del cultivar que se utilice (Monge, 2014) (Cuadro 4).

Los datos presentados para el DE contrastan con los de Palacio *et al.* (2022) quienes reportaron un aumento del 40 %, en promedio, de esta variable por efecto de la aplicación de las RPCV *Bacillus paralicheniformis* y *Pseudomonas lini* en raíces, y de composta a base de estiércol de ganado bovino; este resultado, se atribuye a las características de la composta utilizada, la cual presentó una baja concentración de nitrógeno (Cotrina *et al.*, 2020) (Cuadro 3).

El efecto benéfico del fertilizante orgánico no se manifestó en el rendimiento de frutos, lo que difiere de Tahiri *et al.* (2022) con la aplicación de 10 % de composta, a pesar de que en el presente estudio la dosis aplicada fue mayor (33 %) que la utilizada por los citados autores. Esto podría atribuirse a la baja concentración de N (0,43 %) y a la alta relación C/N (57), coincidiendo con Cotrina *et al.* (2020). Por su parte Raviv *et al.* (2004) indican que para tener buena respuesta en plantas de tomate desarrolladas con 50 % de vermicomposta, es necesario aplicar también fertilización química para suplir las necesidades de nitrógeno y potasio. En este sentido, Heeb *et al.* (2005) señalan que, en la planta, de 70 a 80 % del fósforo y de 80 a 90 % del potasio están disponibles durante el primer año; en cambio, el nitrógeno debe mineralizarse para estar disponible y ser absorbido por la planta porque éste sólo se mineraliza en un 11 a 12 % en el primer año. Aunado a esto, los abonos orgánicos poseen la desventaja de una lenta mineralización, la cual también depende de la actividad de los microorganismos en el suelo para liberar estos nutrimentos (Allouzi *et al.*, 2022). Por ello es de suma importancia tener en cuenta la calidad y el contenido mineral del abono orgánico que se emplee (Cotrina *et al.*, 2020); la mineralización de N orgánico depende de la relación C/N, que cuando es mayor a 17 no se lleva a cabo este proceso (Martín y Martín, 2020).

CONCLUSIONES

Los valores más altos en las variables de crecimiento y calidad determinadas se obtuvieron con el tratamiento testigo (SN100 %) en todos los momentos de inoculación y sin aplicación de biofertilizantes. Sin embargo, en cuanto al rendimiento de frutos, no hubo diferencias estadísticas entre el tratamiento testigo y SN50

con fertilización orgánica e inoculaciones del consorcio microbiológico. Los valores más bajos en todas las variables evaluadas se presentaron con la fertilización orgánica. La combinación de fertilización química, orgánica y biofertilizante es una alternativa de producción viable para obtener un buen rendimiento y aumentar la sustentabilidad del cultivo de tomate en invernadero.

LITERATURA CITADA

1. Allouzi, M.M.A., S.M.A. Allouzi, Z.X. Keng, C.V. Supramaniam, A. Singh y S. Chong. 2022. Liquid biofertilizers as a sustainable solution for agriculture. *Helyion* 8(12): e12609.
2. Alvarado-Raya, H.E., P.E. Escamilla-García, M.E. Estrada-Chavira, F. Pérez-Soto y K.E. Moreno-López. 2023. La composta como reductor de gases de efecto invernadero en el sector agrícola: una revisión integral. *ITEA (Información Técnica Económica Agraria)* 119(1): 2-18.
3. Beltrán-Pineda, M.E. y A.A. Bernal-Figueroa. 2022. Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Mutis* 12(1): 1-18.
4. Cotrina-Cabello, V.R., I.W. Alejos-Patiño, G.G. Cotrina-Cabello, P. Córdova-Mendoza y I.C. Córdova-Barrios. 2020. Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Pano, Perú. *Centro Agrícola* 47(2): 31-40.
5. Díaz-Vázquez, F.A., M. Cabrera-De la Fuente, A. Benavides-Mendoza, V. Robledo-Torres, A. Juárez-Maldonado, A. García-León y A. Sandoval-Rangel. 2023. Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana* 41(1): 1-12.
6. Espinosa-Palomeque, B., P. Cano-Ríos, L. Salas-Pérez, J.L. García-Hernández, P. Preciado-Rangel, J. Sáenz-Mata y J.L. Reyes-Carrillo. 2019. Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. *Biociencia* 21(3): 100-107.
7. FAOSTAT. 2024. <https://n9.cl/bmwi9>

8. Farias Araújo, W., R.J. do Prado, M. Augusti, J.L. Lopes Monteiro Neto, R. De Almeida Pereira y R.M. Bardales-Lozano. 2025. Agroecological cultivation of cherry tomatoes using biofertilizers under protected environment. *Bioagro* 37(2): 199-208.
9. Fernández-Delgado, J., M.I. Hernández-Díaz y J.M. Salgado-Pulido. 2021. Sistemas de biofertilización en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Avances. Instituto de Información Científica y Tecnológica 23(4): 383-392.
10. Galindo-Martorell, P., F. Landeros-Jaime, E.U. Esquivel-Naranjo y J.A. Cervantes-Chávez. 2023. Biofertilizantes: el futuro limpio y sustentable para potenciar el desarrollo de la agricultura. *Frontera Biotecnológica* 1: 24-29.
11. Heeb, A., B. Lundegardh, T. Ericsson y P.G. Savage. 2005. Nitrogen form affects yield taste of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85 (8): 1405-1414.
12. Jalal-Ahamed, G. y R. Hajiboland. 2024. Introduction to arbuscular mycorrhizal fungi and higher plant symbiosis: characteristic features, functions, and applications. In: Golam Jalal Ahamed y Roghieh Hajiboland (ed.). *Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Higher Plants Fundamentals and Applications*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. Gateway East, Singapore. pp. 1-17.
13. Kumar, D., S. Kour, M. Ali, R. Sharma, R. Parkirti, Vikram, et al. 2024. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microorganisms in the rhizosphere and hyphosphere. In: Golam Jalal Ahamed y Roghieh Hajiboland (ed.). *Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Higher Plants Fundamentals and Applications*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. Gateway East, Singapore. pp. 37-66.
14. Martín-Ramos, P. y J. Martín-Gil. 2020. Facile monitoring of the stability and maturity of compost through fast analytical instrumental techniques. In: Mukesh K. Meghvansi y Ajit Varma (ed.). *Biology of Composts*. Springer Nature Switzerland AG. Pradesha, India. pp. 153-180.
15. Monge-Pérez, J. 2014. Caracterización de 14 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha* 27 (4): 58-68.
16. Moreno-Reséndez A., V. García-Mendoza, J.L. Reyes-Carillo, J. Vázquez-Arroyo y P. Cano-Ríos. 2018. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura. *Revista Colombiana de Biotecnología* 20 (1): 68-83.
17. Nadarajan S. y S. Sukumaran. 2021. Chemistry and Toxicology Behind Chemical Fertilizers. In: Lewu F.B., T. Volova, S. Thomas y K.R. Rakhimol (eds.). *Controlled release fertilizers for sustainable agriculture*. Lena Sparks. London, United Kingdom. pp. 195-229.
18. Olasekan-Adekiya A., S. Olatunde-Dahunsi, J. Femi-Ayeni, C. Aremu, C. Muiyiwa-Aboyaji, F. Okunlola y A. Emmanuel-Oyelami. 2022. Organic and inorganic fertilizers effects on the performance of tomato (*Solanum lycopersicum*) and cucumber (*Cucumis sativus*) grown on soilless medium. *Scientific Reports* 12: 1-8.
19. Palacio-Rodríguez R., B. Nava-Reyes, H. Sánchez-Galván, J.J. Quezada-Rivera y J. Sáenz-Mata. 2022. Efecto de la inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal de tomate en condiciones de casa sombra comercial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 28: 231-242.
20. Ravindran, B., H.A. Mupambwa, S. Silwana y P.N.S. Mkeni. 2017. Assessment of nutrient quality, heavy metals and phytotoxic properties of chicken manure on selected commercial vegetable crops. *Heliyon* 3: e00493.
21. Raviv, M., S. Medina, A. Krasnovsky y H. Ziadna. 2004. Organic matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture. *Compost Science & Utilization* 12 (1): 6-10.
22. Sánchez-Hernández, G.A., E. Aceves-Ruiz, A. Aparicio-Juárez, J.D. Guerrero-Rodríguez, J.I. Hernández-Olvera, J.H. Hernández-Salgado, et al. 2023. Fertilización química e inoculación con *Azospirillum* y hongos

- micorrízicos del cultivo de jitomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 41: 1-15.
23. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Producción agrícola. Gobierno de México. <https://n9.cl/emrik>
24. Slimani, A., O. Harkousse, M.A. Mazri, A. Zouahri, L.T. Ouahmane, Koussa y M.N. Al Feddy. 2022. Impact of a selected mycorrhizal complex and a rhizobacterial species on tomato plants' growth under water stress conditions. *Indian Journal of Agricultural Research* 56 (6): 696-704.
25. Tahiri, A., A. Meddich, A. Raklami, A. Alahmad, N. Bechtaoui, M. Anli *et al.* 2022. Assessing the potential role of compost, PGPR, and AMF in improving tomato plant growth, yield, fruit quality, and water stress tolerance. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 22: 743-764.
26. Xiao, Y.G., E.H. Chun, L. Tao y O. Zhu. 2015. Effect of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth of greenhouse tomato and rhizosphere microbial community. *Journal of Northeast Agricultural University* 22(3): 32-42.
27. Zou, Y., Y. Zhang, J. Zhou, C. Bao, M. Chen, W. He y X. Shi. 2022. Effects of composting pig manure at different mature stages on ARGs in different types of soil-vegetable systems. *Journal of Environmental Management* 321: 116042.