Producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) usando rizobacterias en condiciones de baja fertilización química

Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) production using rhizobacteria under low chemical fertilization conditions

Isaac Guajardo-Paz[1], Rosalinda Mendoza-Villarreal[1*], Valentín Robledo-Torres[1], José Rafael Paredes-Jácome[2], Manuel Sandoval-Villa[3], Álvaro Morelos-Moreno[4]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro, 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
[2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fé, S/N, CP. 27059. Torreón, Coahuila, México.
[3]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, CP. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.
[4]SECIHTI-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro, 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: rosalinda.mendoza@uaaan.edu.mx

Artículo científico

Recibido: 01 de abril 2025
Aceptado: 09 de septiembre 2025

RESUMEN. La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es un cultivo alternativo por su capacidad de adaptación y frutos altamente nutritivos. Sin embargo, en México ha sido poco estudiada su producción en suelo. Debido a los actuales desafíos ecológicos, es necesario utilizar métodos sustentables, como las rizobacterias. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de un consorcio de rizobacterias en la producción de dos ecotipos de uchuva en condiciones de baja fertilización química (FQ). Se establecieron los ecotipos Sacha y Chiclayo, los cuales se trasplantaron en invernadero con ventilación natural en suelo acolchado y riego por goteo. La fertilización aplicada fue FQ al 25 y 50% de concentración a base de solución Steiner, la cual se combinó con un consorcio de rizobacterias (BF-UA), con un biofertilizante comercial (Bio-Organik Pseudomonas®) de *Pseudomonas fluorescens* (BC), ambos en concentración de $1x10^8$ UFC mL^{-1}, y con dos tratamientos controles sin rizobacterias. El BF-UA con el 50% de FQ aumentó el peso de los frutos (21.6%) de Sacha, así como el contenido de ácido cítrico (16.1%) en Chiclayo, en relación con el control de Chiclayo sin BF-UA. El BF-UA con 25% de FQ presentó un aumento en el contenido de vitamina C (11.5%) en comparación al control con 25% de FQ de ambos ecotipos. La aplicación del consorcio de rizobacterias y la reducción al 50% de FQ, son una opción viable para la producción sustentable de uchuva.
Palabras clave: cultivo sustentable, microorganismos, biofertilizantes, agroquímicos.

ABSTRACT. Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) is an alternative crop due to its adaptability and highly nutritious fruits. However, its production in soil has been little studied in Mexico. Due to current ecological challenges, it is necessary to use sustainable methods such as rhizobacteria. The objective of the research was to evaluate the effect of application of a rhizobacterial consortium on the production of two ecotypes of goldenberry under low chemical fertilization conditions (FQ). The Sacha and Chiclayo ecotypes were established and transplanted in greenhouse with natural ventilation in mulched soil and drip irrigation. The fertilization applied was FQ at 25 and 50% concentration based on Steiner solution, which was combined with a consortium of rhizobacteria (BF-UA), with a commercial biofertilizer (Bio-Organik Pseudomonas®) of *Pseudomonas fluorescens* (BC), both at a concentration of $1x10^8$ CFU mL^{-1}, and with two control treatments without rhizobacteria. The BF-UA with 50% FQ increased Sacha´s fruit weight (21.6%), as well as citric acid content (16.1%) in Chiclayo, in relation to the Chiclayo control without BF-UA. The BF-UA with 25% FQ showed an increase in vitamin C content (11.5%) compared to the control with 25% FQ of both ecotypes. The application of the rhizobacteria consortium and the 50% FQ reduction are a viable option for the sustainable production of goldenberry.
Key words: sustainable crop, microorganisms, biofertilizers, agrochemicals.

Como citar: Guajardo-Paz I, Mendoza-Villarreal R, Robledo-Torres V, Paredes-Jácome JR, Sandoval-Villa M, Morelos-Moreno A (2025) Producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) usando rizobacterias en condiciones de baja fertilización química. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(3): e4558. DOI: 10.19136/era.a12n3.4558.

INTRODUCCIÓN

La uchuva (*Physalis peruviana* L.), especie originaria de los Andes peruanos, es de gran interés porque el consumo del fruto ha sido asociado con diversos beneficios para la salud humana, contiene nutrientes como hierro, fósforo, potasio, vitaminas A y C, antioxidantes, y compuestos con propiedades medicinales, y aplicaciones en la industria cosmética (Fischer *et al*. 2014, Shenstone *et al*. 2020). Su fruto, tiene alta demanda en los mercados de Europa y Estados Unidos. Colombia, es el principal país exportador y reportó ingresos de $43.6 millones de dólares en 2024 (ANALDEX 2025).

Además de su valor económico, la uchuva representa una alternativa agrícola viable con potencial para diversificar los sistemas productivos de México, gracias a su capacidad de adaptación a diversas condiciones (Espinosa-Rodríguez *et al*. 2020, Monroy-Velandia y Coy-Barrera 2021). Sin embargo, la producción agrícola a nivel global depende de la aplicación de fertilizantes químicos, cuyo uso excesivo puede ocasionar contaminación y degradación del suelo (Alcarraz-Curi *et al*. 2019), afectando la biodiversidad (Maheshwari *et al*. 2019). Optimizar su uso es esencial para enfrentar los retos de seguridad alimentaria y cambio climático (FAO *et al*. 2023), y ante este escenario, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) constituyen una estrategia clave para lograr una agricultura sostenible (Katsenios *et al*. 2021, Reed y Glick 2023). Su potencial radica en su interacción con las plantas, ya que actúan como biofertilizantes, bioestimulantes y agentes de biocontrol para patógenos (Sahu *et al*. 2018, Oleńska *et al*. 2020). Las PGPR también mejoran la respuesta de las plantas a la salinidad, un estrés común en los suelos cultivados, a través de un ajuste osmótico, modulando el sistema antioxidante y el equilibrio fitohormonal, por medio del aumento de la absorción de nutrientes (Giannelli *et al*. 2023).

Entre las PGPR, el género *Pseudomonas* destaca por su capacidad de solubilizar fosfatos, producir sideróforos y fitohormonas como el ácido indolacético (Nosheen *et al*. 2018, Sandini *et al*. 2019). También, los géneros *Achromobacter* y *Enterobacter* por aliviar los efectos del estrés abiótico: al reducir la producción de etileno en las plantas, gracias a la ACC (1-aminociclopropano-1-carboxilato) desaminasa (Danish *et al.* 2020, Habibi *et al*. 2023). De la misma manera, mitigan el estrés biótico: por la presencia de genes asociados a la producción de agentes antimicrobianos, que ayudan a la supresión de fitopatógenos (Guo *et al*. 2020). Por lo tanto, es posible aumentar la producción y al mismo tiempo reducir la aplicación de fertilizantes químicos (Moreno-Reséndez *et al*. 2018).

La efectividad de las PGPR aumenta cuando se trata de un consorcio bacteriano, ya que el crecimiento y flujo cíclico de nutrientes es más eficaz y eficiente que en una población individual (Gangaraddi y Brahmaprakash 2018, Woo y Pepe 2018). Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de un consorcio de rizobacterias en la producción de dos ecotipos de uchuva en condiciones de baja fertilización química. Se planteó la hipótesis de que los tratamientos con rizobacterias incrementarán la producción y calidad del fruto de uchuva, particularmente en al menos uno de los ecotipos evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila, México, ubicadas en las coordenadas 25° 23′ 36″ LN y 101° 00′ 02″ LO, a una altitud de 1 785 m. El cultivo se estableció en suelo dentro de un invernadero tipo túnel con cubierta de polietileno y ventilación natural. Se realizó un análisis de suelo (Tabla 1), posteriormente se efectuó un lavado de sales con riegos hasta reducir la conductividad eléctrica (CE) a 5 dS m^{-1}. Adicionalmente, se incorporaron 0.2 kg m^{-2} de vermicomposta solarizada, y con un tiempo de maduración de seis meses para su aplicación, con el objetivo de mejorar las condiciones del suelo, incrementar el contenido de materia orgánica, y favorecer la actividad de las rizobacterias.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del suelo para el establecimiento del cultivo de uchuva en invernadero.

Determinación	Resultado	Determinación	Resultado (mg kg^{-1})
Clase textural	Arcilla	Nitratos	680
Densidad aparente	1.11 g cm^{-3}	Fósforo-Olsen	203
Materia orgánica	2.48%	Potasio	762
pH (potencial Hidrógeno)	8.07	Calcio	3 687
Conductividad Eléctrica (CE)	13.4 dS m^{-1}	Magnesio	580
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	29.5 mol(+) kg^{-1} suelo	Azufre	1 218
		Sodio	1 085

Material vegetal

Se utilizaron plantas de uchuva de los ecotipos: Sacha y Chiclayo. El ecotipo Sacha, originario de Ecuador, se caracteriza por flores con cáliz nervado y de seis a siete costillas; mientras que Chiclayo, proveniente de Perú, presenta flores con cáliz alargado y cinco costillas.

Características de tratamientos

Se evaluaron 12 tratamientos. Para las plantas de cada ecotipo se aplicó fertilización química (FQ) al 25 y 50% de la concentración total basada en la solución nutritiva de Steiner, la cual se combinó con un consorcio de rizobacterias (BF-UA) compuesto por *Pseudomonas* sp., *Enterobacter* sp. y *Achromobacter* sp., con un biofertilizante comercial (Bio-Organik Pseudomonas®, Bio-Organik, Tangancícuaro, Michoacán, México) a base de *Pseudomonas fluorescens* (BC), ambos en concentración de $1x10^8$ UFC mL^{-1}, y con dos tratamientos controles sin rizobacterias (Tabla 2). Para preparar la FQ se usaron los fertilizantes: nitrato de potasio (KNO_3), fosfato monopotásico (KH_2PO_4), nitrato de calcio ($Ca(NO_3)_2 + 4H_2O$), nitrato de magnesio ($Mg(NO_3)_2$), una mezcla de micronutrientes (Ultrasol micro mix®) a dosis de 0.01 y 0.02 g L^{-1} para la concentración del 25 y 50% de FQ, respectivamente; ácido nítrico al 85% (HNO_3), y ácido sulfúrico al 90% (H_2SO_4).

Tabla 2. Tratamientos aplicados al cultivo de uchuva en invernadero.

Tratamiento	Rizobacteria	Concentración de la solución nutritiva (%)	Ecotipo	Notación
1	Ninguna	25	Sacha	S-25% FQ
2	Ninguna	50	Sacha	S-50% FQ
3	Consorcio *Pseudomonas* sp.	25	Sacha	S-BF-UA+ 25% FQ
4	Consorcio *Pseudomonas* sp.	50	Sacha	S-BF-UA+ 50% FQ
5	*P. fluorescens*	25	Sacha	S-BC+ 25% FQ
6	*P. fluorescens*	50	Sacha	S-BC+ 50% FQ
7	Ninguna	25	Chiclayo	Ch-25% FQ
8	Ninguna	50	Chiclayo	Ch-50% FQ
9	Consorcio *Pseudomonas* sp.	25	Chiclayo	Ch-BF-UA+ 25% FQ
10	Consorcio *Pseudomonas* sp.	50	Chiclayo	Ch-BF-UA+ 50% FQ
11	*P. fluorescens*	25	Chiclayo	Ch-BC+ 25% FQ
12	*P. fluorescens*	50	Chiclayo	Ch-BC+ 50% FQ

La solución nutritiva se formuló considerando el análisis de agua de riego (Tabla 3). Ésta, presentó una CE de 0.95 dS m^{-1}, y pH de 7.43. Se preparó en tanques de 1 100 L cubiertos para evitar la exposición solar, y se aplicó a través del riego, ajustando el volumen de acuerdo con la etapa fenológica: 1 L por planta durante la etapa vegetativa, (0 a 95 días después del trasplante, ddt), y 2 L por planta en etapa reproductiva (95 ddt en adelante).

Tabla 3. Concentración de iones en el agua de riego usada en el cultivo de uchuva.

Ion	mg L^{-1}	Ion	mg L^{-1}	Ion	mg L^{-1}
Potasio	5.85	Sulfato	80.2	Hierro	0.013
Calcio	77.6	Bicarbonato	370	Manganeso	0.054
Magnesio	23.4	Cloruro	42.7	Cobre	0.007
Sodio	85.3	Carbonato	0.00	Zinc	0.056
Nitrato	5.46	Boro	0.55	Arsénico	0.001

Las rizobacterias del consorcio BF-UA fueron aisladas e identificadas molecularmente mediante secuenciación del gen ARNr 16S (Chávez-Arteaga *et al*. 2018) en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Irapuato (Cinvestav). La compatibilidad entre cepas se verificó mediante el método de botón en césped (Bauer *et al*. 1966). Se realizaron tres aplicaciones durante el ciclo del cultivo, cada seis semanas, aplicando 20 mL por planta en la base. El BC se diluyó a 5 mL L^{-1} en agua destilada para igualar la concentración del consorcio BF-UA.

Manejo del cultivo

La semilla se sembró en abril de 2023 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, usando como sustrato una mezcla de turba de Sphagnum (Premier Tech Horticulture) y perlita (Hortiperl de Termolita) en proporción 2:1 (v/v). A los 60 días se trasplantaron las plántulas al suelo con acolchado plástico negro y riego por goteo, con una distancia entre surcos de 150 cm y 50 cm entre plantas, a doble hilera, a una densidad de 26 666 plantas ha^{-1}. Las plantas se guiaron a cuatro tallos, realizando podas de brotes basales y laterales, con un tutorado tipo holandés con rafia y ganchos. La floración inició a los 35 ddt, y las cosechas semanales desde los 95 ddt, evaluando 96 plantas durante 12 cortes.

Variables evaluadas

Las variables de producción de fruto se evaluaron cada semana, se registró el número de frutos por planta (NFP), para lo cual se hizo un conteo de todo fruto con cáliz amarillo, con una envoltura de textura pergaminosa y color café claro; también se tomó el peso de fruto (PF), mediante una balanza electrónica de precisión analítica marca Rhino.

El rendimiento (RF) se estimó en toneladas por hectárea (t ha^{-1}), para lo cual se tomaron los datos de NFP, de PF, el número de cortes (12), y la densidad de plantación (26 666 plantas), con la siguiente fórmula:

$$RF = (\text{NFP})(\text{PF})(12)(26\,666)$$

Las variables de calidad de fruto se determinaron por duplicado en 12 frutos de ocho plantas por tratamiento y cuatro repeticiones. Para la firmeza de los frutos se determinó con un penetrómetro portátil marca Wagner (punta de 2.8 mm, 10 a 1 000 g) expresada en kg cm^{-2}. Se evaluaron los sólidos solubles totales (SST) medidos en °Brix con un refractómetro portátil marca Atago. La acidez titulable (AT) se determinó por titulación con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador y calculada con la siguiente fórmula:

$$AT = \frac{(V)(N)(meq)(100)}{AV}$$

Donde: V = volumen de NaOH gastado en la titulación, N = normalidad de NaOH, meq = constante de miliequivalentes para el ácido cítrico, el más abundante en la uchuva (0.064), y AV = alícuota valorada (AOAC 2005).

Para determinar vitamina C, se trituró la muestra añadiendo ácido clorhídrico (HCl), a esto se le agregó agua destilada (AD), lo cual fue filtrado y medido el volumen; se tomó un alícuota y se tituló con 2,6 dicloroindofenol (reactivo de Thielmann) hasta tornarse a coloración rosácea, al final se calculó en mg 100 g^{-1} con la fórmula:

$$Vitamina\ C = \frac{(VG)(VF)(0.088)(100)}{(AV)(PM)}$$

Donde: VG = volumen gastado de reactivo de Thielmann en titulación, VF = volumen total filtrado, AV = alícuota valorada, y PM = peso de la muestra (AOAC 2005).

Los fenoles totales (FT) se determinaron combinando la muestra con agua-acetona (1:1), la mezcla se sonicó y centrifugó 10 min a 12 000 rpm a 4 °C, y el sobrenadante se filtró, obteniendo extracto

fenólico (EF). Se usó como estándar ácido gálico para preparar una curva de calibración. La ecuación de la recta fue: y = 0.0008x + 0.073, R^2 = 0.999, con ella se calcularon los resultados en mg EAG (equivalentes de ácido gálico) g^{-1} de material seco. Se cuantificaron agregando reactivo Folin Ciocalteu, carbonato de sodio, AD y el EF. En un espectrofotómetro marca Thermo Scientific Genesys 10S UV-Vis se leyó la absorbancia a 750 nm de longitud de onda (Sultana *et al*. 2009).

Los carotenoides totales (CT) se determinaron homogeneizando la muestra con acetona en refrigeración, y el líquido se depositó en un embudo de separación, posteriormente se agregó éter de petróleo y AD para separar la muestra en dos capas, se desechó la capa inferior y la otra se conservó. Se agregó NaOH y se lavó con AD. Se añadió sulfato de sodio (Na_2SO_4) y el sobrenadante se filtró midiendo el volumen. Se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific Genesys 10S UV-Vis a una longitud de onda de 454 nm. Al final se calculó en mg 100 g^{-1} con la fórmula:

$$CT = \frac{(\%Abs)(V)(3.857)(100)}{PM}$$

Donde: %Abs = Porcentaje de absorbancia a 454 nm, V = volumen obtenido, y PM = peso de la muestra (AOAC 2005).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño de bloques al azar con arreglo factorial, con tres factores: el primer factor la rizobacteria aplicada, con tres niveles (el control sin rizobacteria (N), el consorcio de *Pseudomonas* sp, *Enterobacter* sp, *Achromobacter* sp (BF-UA), y el producto a base de *Pseudomonas fluorescens,* BC), el segundo factor la dosis de fertilización, con dos niveles: 25, y 50%, y el tercer factor el ecotipo, con dos niveles: Sacha, y Chiclayo. La unidad experimental fue de ocho plantas. En primera instancia se determinó que los datos eran normales según la prueba de Ryan-Joiner, para determinar los factores que más afectan cada variable se realizó un ANOVA factorial, se crearon gráficas de interacción de las medias ajustadas para las variables con significancia; y después se realizó un ANOVA de un factor. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Para el procesamiento estadístico se utilizó el software Minitab versión 19.1 (Minitab 2019).

RESULTADOS

El análisis de varianza factorial indicó que los valores de p menores a 0.05 se encuentran principalmente para las variables PF, vitamina C y FT, algo que se relaciona con los valores más altos en el coeficiente R^2 obtenidos, es decir, se trata de las variables que más fueron influidas por los factores (Tabla 4).

Para la variable PF, solo el factor FQ fue significativo, destacando el nivel del 50%, que fue 9.5% superior al nivel de 25%. En RF el ecotipo Sacha mostró mayor rendimiento que Chiclayo, con un incremento de 8.9%. Por su parte, la variable de AT fue significativamente mayor cuando se aplicó BF-UA, con un incremento del 5.3% respecto al tratamiento sin PGPR (N); de forma similar se observó en vitamina C, donde BF-UA superó a N y BC en 7.3% y 4.4%, respectivamente. La variable

FT presenta diferencias significativas en el factor PGPR, pues tanto BF-UA como BC, superan en 35.4 y 33.9% a N respectivamente (Tabla 5).

Tabla 4. Valores de p obtenidos del análisis de varianza factorial en el cultivo de uchuva.

Variable	NFP	PF	RF	Firmeza	SST	AT	Vitamina C	FT	CT
Factores	Valor de p								
PGPR	0.080	0.028*	0.281	0.531	0.990	0.031*	0.000*	0.000*	0.943
FQ	0.952	0.001*	0.415	0.257	0.792	0.313	0.141	0.760	0.082
Ecotipo	0.264	0.047*	0.021*	0.087	0.367	0.604	0.374	0.572	0.091
PGPR*FQ	0.340	0.256	0.097	0.876	0.823	0.024*	0.005*	0.001*	0.218
PGPR*Ecotipo	0.699	0.804	0.459	0.110	0.457	0.063	0.939	0.065	0.752
FQ*Ecotipo	0.467	0.525	0.962	0.029*	0.763	0.886	0.734	0.825	0.500
PGPR*FQ*Ecotipo	0.834	0.756	0.533	0.688	0.964	0.822	0.804	0.863	0.823
Valor de R^2 (%)	24.76	50.27	36.87	44.15	9.17	44.48	69.80	68.72	32.15

* = significancia ($p \leq 0.05$). NFP = Número de frutos por planta, PF = Peso de fruto, RF = Rendimiento de fruto, SST = Sólidos solubles totales, AT = Acidez titulable, FT = Fenoles totales, CT = Carotenoides totales.

Tabla 5. Efecto de cada nivel de los factores significativos en la producción de uchuva.

Variable	PF (g)	RF (t ha^{-1})	AT (% de ác. cítrico)	Vitamina C (mg 100 g^{-1})	FT (mg EAG g^{-1})
Factores y sus niveles					
PGPR (N)	2.86^{a}	NS	1.96^{b}	47.08^{b}	13.64^{b}
PGPR (BF-UA)	3.12^{a}	NS	2.07^{a}	50.80^{a}	21.10^{a}
PGPR (BC)	3.08^{a}	NS	2.04^{ab}	48.54^{b}	20.64^{a}
FQ (25%)	2.87^{b}	NS	NS	NS	NS
FQ (50%)	3.17^{a}	NS	NS	NS	NS
Ecotipo (Sacha)	3.10^{a}	11.30^{a}	NS	NS	NS
Ecotipo (Chiclayo)	2.94^{a}	10.29^{b}	NS	NS	NS

PF = Peso de fruto, RF = Rendimiento de fruto, AT = Acidez titulable, FT = Fenoles totales, NS = No significativo. Medias con letras diferentes dentro de misma columna presentan diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$).

En la gráfica de interacciones de la variable PF, en el cuadro de interacción PGPR*FQ y PGPR*Ecotipo se observan los mayores valores con la combinación de la FQ al 50% y el ecotipo Sacha, y la aplicación de BF-UA (Figura 1). Para RF, en el cuadro de interacción FQ*Ecotipo y PGPR*Ecotipo el ecotipo Sacha mostró los mayores valores, y la FQ mantiene valores similares, a excepción de cuando hay interacción con N, sin aplicación de PGPR (Figura 2).

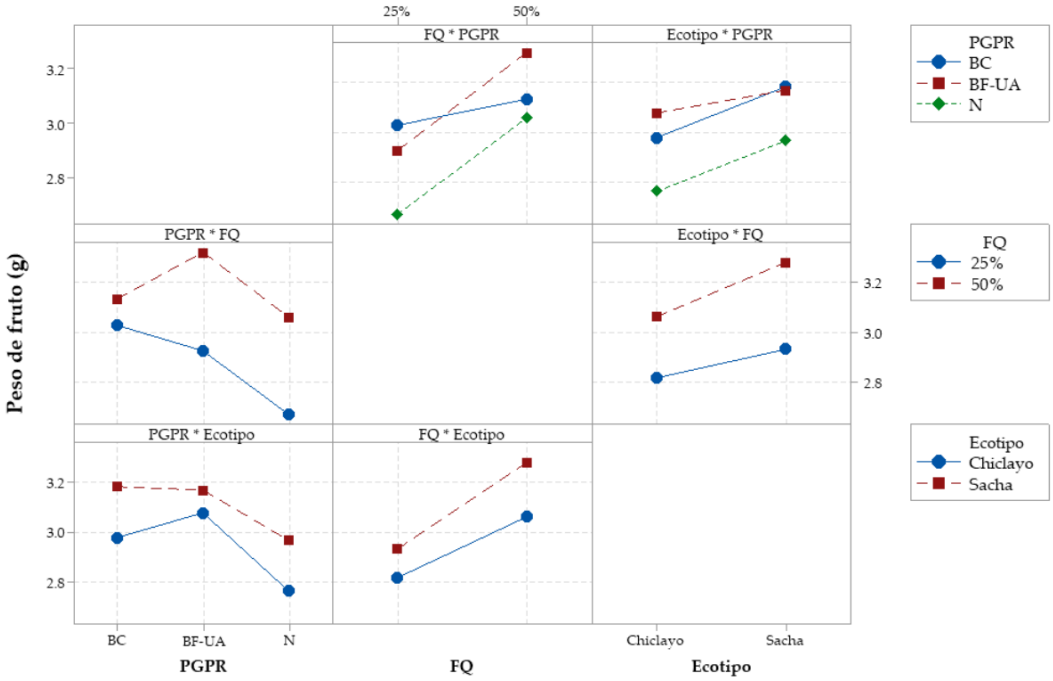

Figura 1. Interacción de medias ajustadas para peso de fruto en respuesta al uso de rizobacterias y fertilización química reducida. FQ: Concentración de la solución nutritiva, PGPR: Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, BF-UA: Consorcio *Pseudomonas* sp., *Enterobacter* sp. y *Achromobacter* sp BC: *P. fluorescens* comercial, N: Sin rizobacterias.

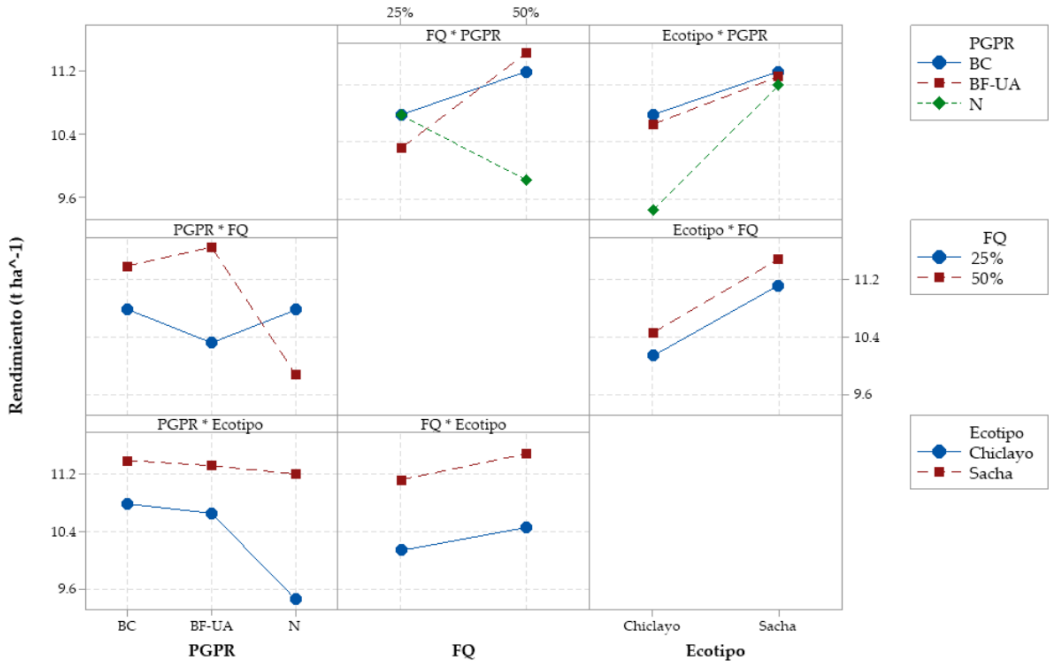

Figura 2. Interacción de medias ajustadas para rendimiento en respuesta al uso de rizobacterias y fertilización química reducida. FQ: Concentración de la solución nutritiva, PGPR: Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, BF-UA: Consorcio *Pseudomonas* sp., *Enterobacter* sp. y *Achromobacter* sp. BC: *P. fluorescens* comercial, N: Sin rizobacterias.

En la gráfica de interacciones para la variable AT se observa un aumento de los valores con la aplicación de BF-UA en interacción con el 50% de FQ, en el cuadro de interacción Ecotipo*FQ se observa que ambos ecotipos tienen valores cercanos, disminuyendo únicamente en la interacción de los mismos con N, sin aplicación de PGPR y con el ecotipo Chiclayo que se muestra en el cuadro de interacción PGPR*Ecotipo (Figura 3).

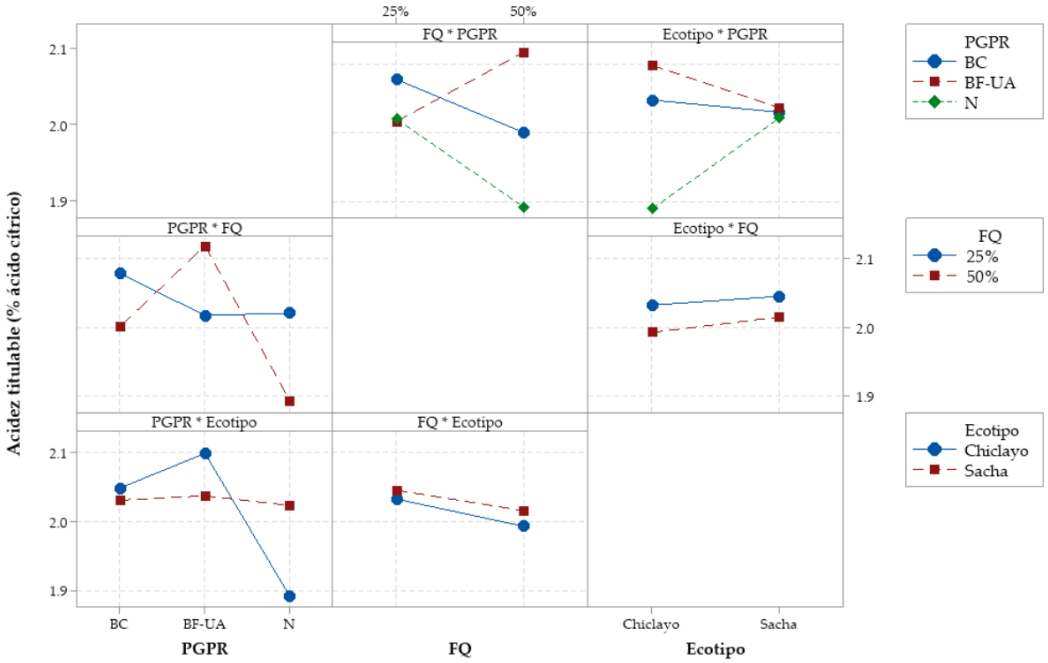

Figura 3. Interacción de medias ajustadas para acidez titulable en respuesta al uso de rizobacterias y fertilización química reducida. FQ: Concentración de la solución nutritiva, PGPR: Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, BF-UA: Consorcio *Pseudomonas* sp., *Enterobacter* sp. y *Achromobacter* sp. BC: *P. fluorescens* comercial, N: Sin rizobacterias.

De la misma forma, en vitamina C los valores son aumentados con BF-UA y en la interacción de éste con los demás factores como se muestra en el cuadro de interacción PGPR*FQ y FQ*PGPR, acentuando tal aumento con el 25% de FQ, siendo el ecotipo el factor que tiene valores casi iguales que se observan en el cuadro de interacción de Ecotipo*PGPR y Ecotipo*FQ (Figura 4).

Por su parte, en la variable de FT se observa en el cuadro de interacción FQ*PGPR y Ecotipo*PGPR que, tanto BF-UA como BC presentaron los valores más altos a comparación de N, y tienen un ligero comportamiento inverso en relación con el ecotipo, es así que, se obtienen mayores valores de FT al combinar BF-UA con Chiclayo, y BC con Sacha. El cuadro de interacción Ecotipo*FQ mostró líneas casi paralelas, indicando escasa o nula interacción (Figura 5), fenómeno que se repite en la mayoría de las variables analizadas.

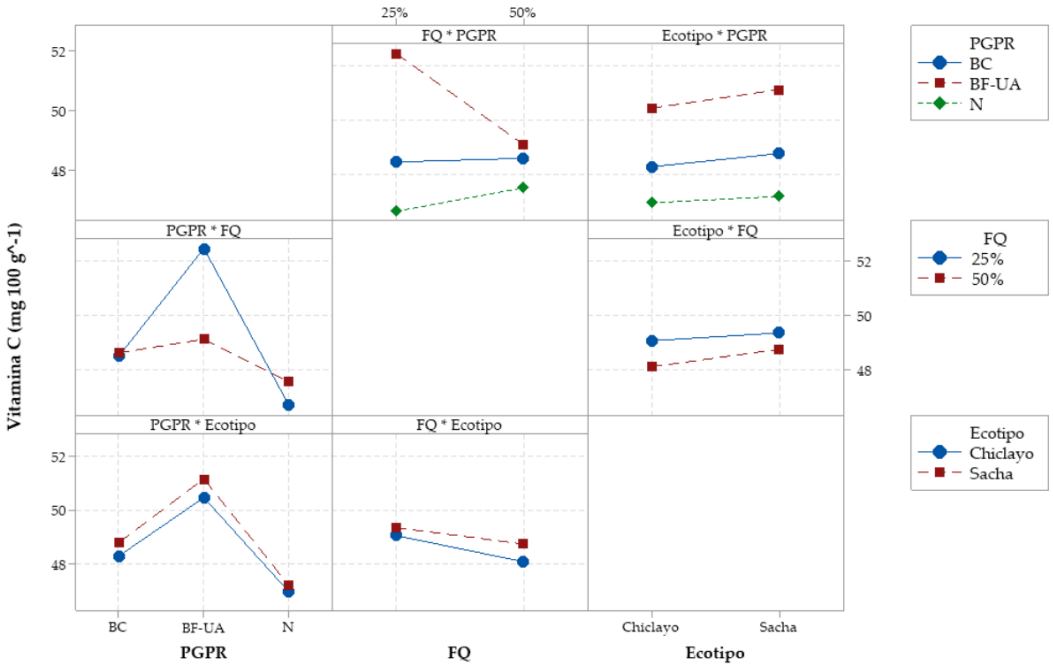

Figura 4. Interacción de medias ajustadas para vitamina C en respuesta al uso de rizobacterias y fertilización química reducida. FQ: Concentración de la solución nutritiva, PGPR: Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, BF-UA: Consorcio *Pseudomonas* sp., *Enterobacter* sp. y *Achromobacter* sp., BC: *P. fluorescens* comercial, N: Sin rizobacterias.

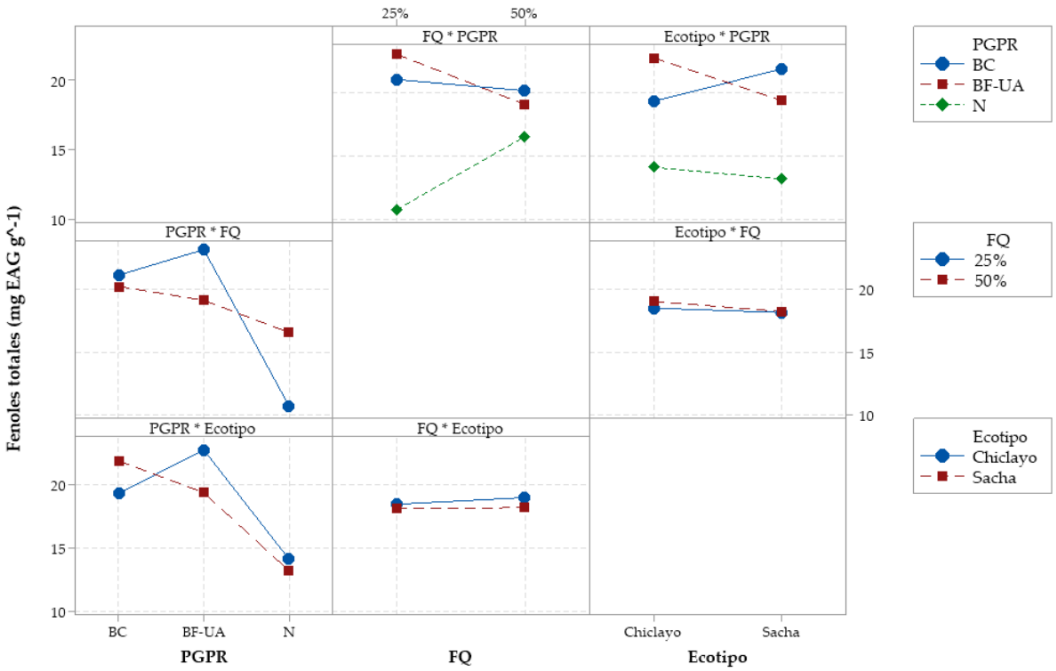

Figura 5. Interacción de medias ajustadas para fenoles totales en respuesta al uso de rizobacterias y fertilización química reducida. FQ: Concentración de la solución nutritiva, PGPR: Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, BF-UA: Consorcio *Pseudomonas* sp., *Enterobacter* sp. y *Achromobacter* sp, BC: *P. fluorescens* comercial, N: Sin rizobacterias.

En el análisis de varianza de un factor, en número de frutos por planta (NFP) no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, con valores que oscilaron entre 6.54 y 7.45 frutos por planta por semana.

En cambio, para el peso de fruto (PF) se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), atribuidas al tratamiento S-BF-UA + 50% FQ, el cual superó en un 21.6% al control sin PGPR Ch-25% FQ. Los demás tratamientos fueron iguales estadísticamente. El peso de los frutos varió de 2.63 a 3.35 g. Para la variable rendimiento de fruto (RF) no se observaron diferencias significativas, cuyos valores fluctuaron entre 8.98 y 11.63 t ha^{-1} (Tabla 6).

Tabla 6. Efecto de rizobacterias en variables agronómicas y de calidad en la producción de uchuva.

Tratamientos	Variables								
	NFP	PF (g)	RF (t ha^{-1})	Firmeza (kg cm^{-2})	SST (°Brix)	AT (% de ác. cítrico)	Vitamina C (mg 100 g^{-1})	FT (mg EAG g^{-1})	CT (mg 100 g^{-1})
S-25% FQ	6.98 ± 0.15^{a}	2.71 ± 0.22^{ab}	11.63 ± 0.91^{a}	5.01 ± 0.18^{a}	14.75 ± 0.51^{a}	2.07 ± 0.17^{ab}	46.53 ± 1.79^{c}	10.18 ± 1.04^{c}	1.66 ± 0.25^{a}
S-50% FQ	6.54 ± 0.59^{a}	3.22 ± 0.36^{ab}	10.76 ± 2.12^{a}	4.99 ± 0.21^{a}	14.74 ± 0.53^{a}	1.97 ± 0.06^{ab}	47.87 ± 2.01^{abc}	16.18 ± 0.54^{abc}	1.65 ± 0.21^{a}
S-BF-UA+ 25% FQ	6.83 ± 0.89^{a}	2.98 ± 0.41^{ab}	10.35 ± 1.97^{a}	5.24 ± 0.46^{a}	14.36 ± 0.66^{a}	1.99 ± 0.03^{ab}	52.63 ± 1.01^{a}	21.91 ± 1.09^{a}	1.61 ± 0.19^{a}
S-BF-UA+ 50% FQ	7.20 ± 0.24^{a}	3.35 ± 0.46^{a}	12.27 ± 2.04^{a}	5.00 ± 0.45^{a}	14.61 ± 0.68^{a}	2.08 ± 0.10^{ab}	49.65 ± 3.07^{abc}	16.91 ± 2.92^{abc}	1.82 ± 0.15^{a}
S-BC+ 25% FQ	7.22 ± 0.66^{a}	3.10 ± 0.19^{ab}	11.36 ± 1.41^{a}	5.37 ± 0.27^{a}	14.68 ± 0.98^{a}	2.07 ± 0.06^{ab}	48.87 ± 2.06^{abc}	22.30 ± 3.69^{a}	1.59 ± 0.21^{a}
S-BC+ 50% FQ	6.89 ± 0.54^{a}	3.26 ± 0.24^{ab}	11.40 ± 1.39^{a}	5.32 ± 0.31^{a}	14.81 ± 0.35^{a}	1.99 ± 0.08^{ab}	48.69 ± 0.72^{abc}	21.56 ± 5.44^{a}	1.82 ± 0.22^{a}
Ch-25% FQ	6.79 ± 0.57^{a}	2.63 ± 0.21^{b}	9.92 ± 0.30^{a}	4.99 ± 0.44^{a}	14.49 ± 0.77^{a}	1.97 ± 0.11^{ab}	46.76 ± 2.95^{bc}	11.28 ± 1.60^{bc}	1.64 ± 0.11^{a}
Ch-50% FQ	6.76 ± 0.70^{a}	2.89 ± 0.23^{ab}	8.98 ± 0.87^{a}	5.18 ± 0.36^{a}	14.23 ± 1.01^{a}	1.81 ± 0.12^{b}	47.17 ± 3.24^{abc}	16.92 ± 2.79^{abc}	1.58 ± 0.35^{a}
Ch-BF-UA+ 25% FQ	7.05 ± 0.57^{a}	2.87 ± 0.20^{ab}	10.27 ± 1.32^{a}	4.78 ± 0.42^{a}	14.64 ± 0.53^{a}	2.04 ± 0.09^{ab}	52.33 ± 1.71^{ab}	24.30 ± 5.08^{a}	1.46 ± 0.14^{a}
Ch-BF-UA+ 50% FQ	7.38 ± 0.55^{a}	3.29 ± 0.26^{ab}	11.02 ± 0.49^{a}	5.13 ± 0.09^{a}	14.71 ± 0.90^{a}	2.15 ± 0.21^{a}	48.58 ± 2.64^{abc}	21.29 ± 1.26^{a}	1.66 ± 0.08^{a}
Ch-BC+ 25% FQ	7.45 ± 0.42^{a}	2.97 ± 0.18^{ab}	10.50 ± 1.42^{a}	4.71 ± 0.17^{a}	14.47 ± 0.81^{a}	2.06 ± 0.10^{ab}	48.49 ± 2.02^{abc}	19.86 ± 3.80^{ab}	1.58 ± 0.15^{a}
Ch-BC+ 50% FQ	7.37 ± 0.61^{a}	3.00 ± 0.24^{ab}	11.24 ± 1.80^{a}	5.35 ± 0.13^{a}	14.12 ± 0.63^{a}	2.02 ± 0.17^{ab}	47.96 ± 3.22^{abc}	18.83 ± 6.76^{ab}	1.65 ± 0.29^{a}
DMS	1.41	0.70	3.58	0.79	1.80	0.29	5.73	8.58	0.51

DMS: Diferencia mínima significativa. NFP = Número de frutos por planta, PF = Peso de fruto, RF = Rendimiento de fruto, SST = Sólidos solubles totales, AT = Acidez titulable, FT = Fenoles totales, CT = Carotenoides totales. Valores a la derecha corresponden a la desviación estándar. Medias con letras diferentes dentro de misma columna presentan diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$).

En el análisis de varianza de un factor, no se observaron diferencias significativas para la variable firmeza, cuyos valores oscilaron entre 4.71 y 5.37 kg cm^{-2}. Tampoco hubo diferencias en los sólidos solubles totales (SST), con promedios entre 14.12 y 14.81 °Brix.

En la variable acidez titulable (AT) se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), destacando los tratamientos Ch-BF-UA+ 50% FQ y el control sin PGPR Ch-50% FQ, con una diferencia del 16.15%, obteniendo valores entre 1.81 y 2.15% de ácido cítrico. Para vitamina C, se encontró significancia ($p \leq 0.05$), destacando los tratamientos BF-UA + 25% FQ de ambos ecotipos, con un

aumento en 11% respecto a los controles sin PGPR S-25% FQ y Ch-25% FQ, los contenidos oscilaron entre 46.53 y 52.63 mg 100 g^{-1} de vitamina C.

Para fenoles totales (FT) hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$); los controles sin PGPR S-25% FQ y Ch-25% FQ presentaron entre 58 y 47% menos contenido de fenoles totales en comparación con cinco tratamientos con PGPR; esta variable presentó los valores más contrastantes, de 10.18 hasta 24.30 mg EAG g^{-1}, con una desviación estándar máxima de 6.76. Para la variable de carotenoides totales (CT) no se encontraron diferencias significativas, con valores de 1.46 a 1.82 mg 100 g^{-1}, algo similar a lo encontrado en la variable de SST (Tabla 6).

DISCUSIÓN

En la variable PF, el factor que más influyó fue la FQ, destacando el 50%, con una tendencia a aumentar PF en la interacción con Sacha y BF-UA. Esto debido probablemente a que BF-UA junto a esa cantidad de FQ, facilitó la absorción de nutrientes, traduciéndose en un aumento en el peso del fruto; similar al trabajo de Beltrán-Acosta *et al*. (2022), que aplicando *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas migulae* a uchuva, incrementaron su peso fresco y seco. En las variables de vitamina C, FT, y en menor medida AT, el factor que más afectó fueron las PGPR, destacando BF-UA y BC, teniendo variabilidad en sus interacciones. Esto va en concordancia a lo reportado: *Pseudomonas putida,* y *P. fluorescens* junto a sustancias húmicas, aumentan la calidad y el contenido de compuestos antioxidantes en frutos de frambuesa y de pepino (Kafi *et al*. 2021, Martínez-de la Cruz *et al*. 2025), debido a que promueven la defensa de las plantas a través de una resistencia sistémica, con la ayuda de enzimas antioxidantes (Costa-Gutierrez *et al*. 2022).

Ninguno de los factores evaluados afectó significativamente los valores de NFP. Los resultados obtenidos fueron menores a los reportados por Aguilar-Carpio *et al.* (2018) para el ecotipo Colombia, quienes cosecharon entre 11.7 y 19.2 frutos por planta aplicando la solución Steiner al 50, 100 y 150%, siendo el valor más bajo con el 50%. Asimismo, Álvarez-Herrera *et al*. (2015), obtuvieron casi 12 frutos cosechados semanalmente, y Gastelum-Osorio *et al*. (2013), con más de 15 frutos por planta en rebrote, sin embargo, con poca diferencia entre las concentraciones de fertilización del 50 y 75%, indicando un posible punto óptimo económico. Los estudios presentados se realizaron en sustrato; mientras que en este experimento las condiciones del suelo probablemente limitaron el aporte nutricional, lo cual podría haber provocado la reducción del número de frutos por abortos florales o menor desarrollo de ramas productivas (Miranda y Fischer 2021).

Los resultados obtenidos para la variable PF fueron afectados por el nivel de la FQ, siendo el 50% el más adecuado para obtener mayor peso. El tratamiento S-BF-UA + 50% FQ mostró un peso significativamente superior en comparación con Ch-25% FQ ($p \leq 0.05$), aunque los valores siguen siendo inferiores a los 4-10 g reportados por Miranda y Fischer (2021). El peso de fruto depende en gran medida de la absorción de agua y nutrientes, lo cual se favoreció en combinación específica mediante la acción de las PGPR del consorcio BF-UA, que promueven la disponibilidad de nutrientes como fósforo y potasio a través de la producción de compuestos orgánicos y solubilización de minerales (Pii *et al*. 2015, Rawat *et al*. 2020), Además, estas bacterias pueden

contribuir a mantener el equilibrio iónico celular incluso en condiciones de alta conductividad eléctrica (Monroy-Velandia y Coy-Barrera 2021).

El RF fue influenciado principalmente por el ecotipo, siendo el ecotipo Sacha el que presentó mayores valores, aunque sin diferencias estadísticas, lo cual se relaciona con NFP. Los rendimientos superaron los 6 t ha^{-1} que se obtienen en Chile y Perú (Fischer *et al*. 2014), pero fueron inferiores a los 24 t ha^{-1} en campo abierto de Colombia (Agronet 2022) y a los 45-60 t ha^{-1} en invernadero o sistemas hidropónicos en México (Aguilar-Carpio *et al*. 2018, Sabino-López *et al*. 2018). A pesar de ellos, los resultados son alentadores, considerando que sólo se realizaron 12 cortes y que las plantas pueden seguir produciendo. Además, el rendimiento no fue disminuido marcadamente como sucede en condiciones similares de suelo, lo que indica que a pesar de eso las PGPR mantuvieron sus actividades promotoras del crecimiento, induciendo en las plantas tolerancia al estrés (Miranda *et al*. 2014, Pérez-Rodriguez *et al.* 2022).

La firmeza de los frutos no fue afectada por ninguno de los factores de estudio. Esto difiere con los hallazgos de Pérez-Rodriguez *et al*. (2020), donde plántulas de tomate inoculadas con *Pseudomonas fluorescens* y *Azospirillum brasilense* presentaron frutos con mayor firmeza en comparación al control, también difiere con Kucuker *et al.* (2023), quienes aplicando *Bacillus* sp., solo o combinado con aminoetoxivinilglicina y ácido salicílico, obtuvieron mayor firmeza en frutos de cereza. La razón de la diferencia con otros estudios puede deberse a la interacción especifica de las PGPR con la uchuva en las condiciones ambientales particulares de esta investigación, que proviene de cambios en la expresión del genotipo (Criollo *et al*. 2014). Sin embargo, los resultados obtenidos están dentro del rango reportado para este fruto, coincidiendo con Guevara-Collazos *et al*. (2019), que reportan hasta 5.35 kg cm^{-2} en el ecotipo Colombia.

Los SST no fueron afectados por los factores evaluados, y no se observaron diferencias significativas. Hernández-Montiel *et al*. (2018), reportaron aumentos de hasta 12.5% en SST en pimiento morrón usando *Pseudomonas putida,* mientras que, Espinosa-Palomeque *et al*. (2019), no encontraron diferencias en tomate al aplicar *Bacillus paralicheniformis* y *Pseudomonas lini*. Probablemente esto se deba a que las PGPR no aumentaron el transporte de azúcares al fruto. Los SST son influenciados principalmente por el aporte hídrico, las láminas de riego y el contenido de materia orgánica (González-Rodríguez *et al*. 2018, Álvarez-Herrera *et al*. 2021). Además, esto señala que se mantuvo un equilibrio iónico-osmótico en las raíces, exclusión y secuestro de posibles sales, sin la acción dañina de elementos presentes como el sodio (Isah 2019), que se reflejó en una variación muy baja en los valores obtenidos.

La AT fue significativamente influenciada por las PGPR, en particular por el consorcio BF-UA, con diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento Ch-BF-UA + 50% FQ y su respectivo control Ch-50% FQ. Los valores obtenidos coinciden con el promedio de 1.5 a 2% reportado por Pinzón *et al*. 2015 y Obregón-La Rosa *et al*. 2023. Es interesante que la diferencia significativa se presentó únicamente entre tratamientos muy similares, siendo decisiva la presencia de las PGPR; esto significa que las PGPR desempeñan un papel importante en los niveles de acidez, y por ende en el sabor del fruto (Thuy *et al*. 2020), ya que entre los metabolitos que producen, se incluyen osmoprotectores y ácido cítrico (Cho *et al.* 2015).

El contenido de vitamina C fue significativamente mayor en tratamientos con BF-UA ($p \leq 0.05$), especialmente en combinación con 25% de FQ en ambos ecotipos con respecto a los controles sin PGPR. Los resultados son comparables a los de Obregón-La Rosa *et al.* (2023), y similares a los niveles presentes en frutos de naranja (USDA 2019), es decir, entre 45 y 50 mg 100 g^{-1}. Lo anterior se relaciona con los resultados de AT, pues seguramente se debió a que el BF-UA promovió la producción de antioxidantes involucrados en las respuestas de tolerancia a estrés, entre ellos los ácidos cítrico y ascórbico (Wang *et al*. 2024). Y aunque una sola PGPR (BC) produjo valores mayores, no fue significativa a comparación de los tratamientos control sin PGPR, y la aplicación del consorcio de PGPR (BF-UA) produjo significancia, esto comprueba el sinergismo que sucedió entre ellas, y porque imitan de mejor manera, en términos de biodiversidad, el complejo microbioma presente en el suelo (Woo y Pepe 2018).

Los FT también fueron influenciados positivamente por la aplicación de PGPR, destacando tanto BF-UA como BC. Se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), pues los controles con 25% FQ de ambos ecotipos produjeron menor contenido que cinco de los tratamientos con BF-UA y BC, de forma similar a lo que sucedió en la variable de vitamina C. Los valores obtenidos difieren con Obregón-La Rosa *et al*. (2023), quienes promediaron entre 68.17 y 83.40 mg EAG g^{-1}, variando la concentración si se trataba de una región a otra, aunque son superiores al rango de 0.59 a 0.77 mg EAG g^{-1} obtenidos en el fruto por Mier-Giraldo *et al.* (2017). Esta variabilidad puede deberse a factores como el estado fisiológico de la planta, la parte vegetal analizada y los métodos de extracción (Olivares-Tenorio *et al*. 2016), ya que los fenoles están estrechamente relacionados con la capacidad antioxidante.

Ningún factor estudiado afectó los valores de CT. Los valores obtenidos fueron menores a los 6.5 mg 100 g^{-1} reportados por Llerena *et al*. (2019) para el ecotipo Golden Kenyan, pero coinciden con el promedio de 0.56-2.60 mg 100 g^{-1} reportado por Álvarez-Herrera *et al*. (2014). Es posible que las PGPR no hayan influido directamente en la acumulación de carotenoides en el fruto, ya que los pigmentos antioxidantes se distribuyen en la planta según las necesidades fisiológicas (Isah 2019). No obstante, hay reportes de incrementos en licopeno en tomate aplicando *Bacillus subtilis* (Chandrasekaran *et al.* 2019), o en el trabajo donde dos cepas de *Pseudomonas* sp. provocaron un aumento de carotenoides, pero en hojas de tomate bajo estrés hídrico, mejorando la eficiencia fotosintética de la planta (Lucas *et al*. 2023). Estos hallazgos respaldan el potencial de las PGPR para mejorar la tolerancia al estrés por distintas vías (Ilangumaran y Smith 2017).

CONCLUSIONES

La producción de uchuva representa una alternativa viable para diversificar los sistemas de cultivo, ya que ambos ecotipos mostraron una adecuada adaptación a las condiciones del sitio experimental. La aplicación del consorcio constituido por *Pseudomonas* sp., *Enterobacter* sp. y *Achromobacter* sp. en combinación con una reducción del 50% de fertilización química, permitió un ahorro significativo en insumos sin comprometer el rendimiento del cultivo, además, se obtuvo una producción sustentable desde el punto de vista ecológico, destacando la obtención de frutos

con alto contenido en ácido cítrico, vitamina C y compuestos fenólicos con un 25% de fertilización química.

AGRADECIMIENTOS

Como estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida, el autor principal agradece a SECIHTI por el apoyo de beca otorgado para el posgrado y a la Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal por proporcionar las cepas de rizobacterias utilizadas en la investigación.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

Agronet (2022) Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano. Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2024.

Aguilar-Carpio C, Juárez-López P, Campos-Aguilar IH, Alia-Tejacal I, Sandoval-Villa M, López-Martínez V (2018) Analysis of growth and yield of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) grown hydroponically under greenhouse conditions. Revista Chapingo Serie Horticultura 24(3): 191-202. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.07.024.

Alcarraz-Curi M, Heredia-Jiménez V, Julian-Ibarra JP (2019) Cepas bacterianas nativas con actividades promotoras del crecimiento vegetal aisladas de la rizosfera de *Coffea* spp. en Pichanaqui, Perú. Biotecnología Vegetal 19(4): 285-295.

Álvarez-Herrera J, Fischer G, Restrepo LP, Quicazán M (2014) Contenidos de carotenoides totales y ácido ascórbico en frutos sanos y rajados de uchuva (*Physalis peruviana* L.). En: Fischer G, Hernández MS, Herrera AO, Díaz RO, Balaguera-López HE (eds) II International Conference on Postharvest and Quality Management of Horticultural Products of Interest for Tropical Regions. Acta Horticulturae 1016. pp. 77-81. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1016.8.

Álvarez-Herrera JG, Fischer G, Vélez-Sánchez JE (2015) Producción de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 9(2): 222-233. https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i2.4177.

Álvarez-Herrera J, Fischer G, Vélez JE (2021) Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cosechas en invernadero con diferentes láminas de riego. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 45(174): 109-121. https://doi.org/10.18257/raccefyn.1239.

ANALDEX (2025) Informe exportaciones de uchuva 2024. Asociación Nacional de Comercio Exterior. Bogotá, D.C. Colombia. https://www.analdex.org/2025/02/17/informe-exportaciones-de-uchuva-2024. Fecha de consulta: 17 de junio de 2025.

AOAC (2005) Official methods of analysis of AOAC International. Horwitz W, Latimer GW (eds), 18th edition. Association of Official Analytical Collaboration (AOAC) International. Gaithersburg, Maryland, USA. 2350 pp.

Bauer AW, Kirby WM, Sherris JC, Turck M (1966) Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. American Journal of Clinical Pathology 45(4): 493-496. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5325707.

Beltrán-Acosta CR, Zapata-Narváez YA, Millán-Montaño DA, Díaz-García A (2022) Efecto de *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas migulae* sobre el crecimiento de plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en semillero. Agronomía Mesoamericana 34(1): 50669. https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50669.

Chandrasekaran M, Chun SC, Oh JW, Paramasivan M, Saini RK, Sahayarayan JJ (2019) *Bacillus subtilis* CBR05 for Tomato (*Solanum lycopersicum*) Fruits in South Korea as a Novel Plant Probiotic Bacterium (PPB): Implications from Total Phenolics, Flavonoids, and Carotenoids Content for Fruit Quality. Agronomy 9(12): 838. https://doi.org/10.3390/agronomy9120838.

Chávez-Arteaga KT, Guato-Molina JJ, Peñafiel-Jaramillo MF, Mestanza-Uquillas CA, Canchignia-Martínez HF (2018) Bacterias fluorescentes productoras de metabolitos antagónicos de cultivares nativos de *Musa* sp. y su diversidad filogenética al gen ARNr 16S. Ciencia y Tecnología 11(2): 17-29. https://doi.org/10.18779/cyt.v11i2.232.

Cho S-T, Chang H-H, Egamberdieva D, Kamilova F, Lugtenberg B, Kuo C-H (2015) Genome analysis of *Pseudomonas fluorescens* PCL1751: A rhizobacterium that controls root diseases and alleviates salt stress for its plant host. PLoS ONE 10(10): e0140231. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140231.

Costa-Gutierrez SB, Adler C, Espinosa-Urgel M, de Cristóbal RE (2022) *Pseudomonas putida* and its close relatives: mixing and mastering the perfect tune for plants. Applied Microbiology and Biotechnology 106(9-10): 3351-3367. https://doi.org/10.1007/s00253-022-11881-7.

Criollo H, Lagos TC, Fischer G, Mora L, Zamudio L (2014) Comportamiento de tres genotipos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes sistemas de poda. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 8(1): 34-43. https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i1.2798.

Danish S, Zafar-ul-Hye M, Fahad S, Saud S, Brtnicky M, Hammerschmiedt T, Datta R (2020) Drought stress alleviation by ACC deaminase producing *Achromobacter xylosoxidans* and *Enterobacter cloacae*, with and without timber waste biochar in maize. Sustainability 12(15): 6286. https://doi.org/10.3390/su12156286.

Espinosa-Palomeque B, Cano-Ríos P, Salas-Pérez L, García-Hernández JL, Preciado-Rangel P, Sáenz-Mata J, Reyes-Carrillo JL (2019) Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. Biotecnia 21(3): 100-107. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i3.1038.

Espinosa-Rodríguez M, Sandoval-Villa M, García-Cruz E, Antúnez-Ocampo O, Pérez-Pacheco R, Sabino-López JE (2020) El mercado de la uchuva en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11(8): 1789-1802. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2228.

FAO, FIDA, OMS, PMA, UNICEF (2023) El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023. Urbanización, transformación de los sistemas agroalimentarios y dietas saludables a lo largo del continuo rural-urbano. Serie El Estado del Mundo. FAO. Roma, Italia. 337p. https://doi.org/10.4060/cc3017es. Fecha de consulta: 9 de julio de 2024.

Fischer G, Almanza-Merchán PJ, Miranda D (2014) Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Revista Brasileira de Fruticultura 36(1): 01-15. https://doi.org/10.1590/0100-2945-441/13.

Gangaraddi V, Brahmaprakash GP (2018) Comparative Evaluation of Selected Formulations of a Microbial Consortium. Mysore Journal of Agricultural Sciences 52(2): 255-262.

Gastelum-Osorio DA, Sandoval-Villa M, Trejo-López C, Castro-Brindis R (2013) Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. Revista Chapingo Serie Horticultura 19(2): 197-210. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.002.

Giannelli G, Potestio S, Visioli G (2023) The Contribution of PGPR in Salt Stress Tolerance in Crops: Unravelling the Molecular Mechanisms of Cross-Talk between Plant and Bacteria. Plants 12(11): 2197. https://doi.org/10.3390/plants12112197.

González-Rodríguez G, Espinosa-Palomeque B, Cano-Ríos P, Moreno-Reséndez A, Leos-Escobedo L, Sánchez-Galván H, Sáenz-Mata J (2018) Influencia de rizobacterias en la producción y calidad nutracéutica de tomate bajo condiciones de invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9(2): 367-379. https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1078.

Guevara-Collazos AJ, Villagran-Munar EA, Velasquez-Ayala FA, González-Velandia KD (2019) Evaluación del comportamiento poscosecha de uchuva provenientes de sistemas de producción convencionales y agroecológicos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10(6): 1273-1285. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1492.

Guo DJ, Singh RK, Singh P, Li DP, Sharma A, Xing YX, Song XP, Yang LT, Li YR (2020) Complete Genome Sequence of *Enterobacter roggenkampii* ED5, a Nitrogen Fixing Plant Growth Promoting Endophytic Bacterium with Biocontrol and Stress Tolerance Properties, Isolated from Sugarcane Root. Frontiers in Microbiology 11: 580081. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.580081.

Habibi S, Yokoyama T, Haidari MD, Torii A, Yasuda M, Ohkama-Ohtsu N (2023) Analyzing Single and Combined Cultures of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Isolates from Afghanistan as a Potential Biofertilizer for Rice Growth and Development. Agriculture 13(12): 2252. https://doi.org/10.3390/agriculture13122252.

Hernández-Montiel LG, Chiquito-Contreras RG, Castillo-Rocha DG, Chiquito-Contreras CJ, Vidal-Hernández L, Beltrán-Morales FA (2018) Efecto de microcápsulas de *Pseudomonas putida* sobre crecimiento y rendimiento de pimiento morrón. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 9(spe20): 4223-4233. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.992.

Ilangumaran G, Smith DL (2017) Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: A systems biology perspective. Frontiers in Plant Science 8: 1768. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01768.

Isah T (2019) Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. Biological Research 52(1): 39. https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3.

Kafi SA, Arabhosseini S, Karimi E, Koobaz P, Mohammadi A, Sadeghi A (2021) *Pseudomonas putida* P3-57 induces cucumber (*Cucumis sativus* L.) defense responses and improves fruit quality characteristics under commercial greenhouse conditions. Scientia Horticulturae 280, https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109942.

Katsenios N, Andreou V, Sparangis P, Djordjevic N, Giannoglou M, Chanioti S, Stergiou P, Xanthou M-Z, Kakabouki I, Vlachakis D, Djordjevic S, Katsaros G, Efthimiadou A (2021) Evaluation of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of industrial tomato. Microorganisms 9(10): 2099. https://doi.org/10.3390/microorganisms9102099.

Kucuker E, Celik K, Kizgin-Ozcengiz C, Ogurlu F, Aglar E (2023) Pre-harvest application of aminoethoxyvinylglycine, salicylic acid and plant growth promoting rhizobacteria on fruit quality of 'Sweetheart' sweet cherry. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology 11(4): 871-875. https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i4.871-875.5860.

Llerena W, Samaniego I, Angós I, Brito B, Ortiz B, Carrillo W (2019) Biocompounds content prediction in ecuadorian fruits using a mathematical model. Foods 8(8): 284. https://doi.org/10.3390/foods8080284.

Lucas JA, Garcia-Villaraco A, Montero-Palmero MB, Montalban B, Ramos-Solano B, Gutierrez-Mañero FJ (2023) Physiological and genetic modifications induced by plant-growth-promoting rhizobacteria

(PGPR) in tomato plants under moderate water stress. Biology 12(7): 901. https://doi.org/10.3390/biology12070901.

Maheshwari DK, Saraf M, Dheeman S (2019) Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as protagonists of ever-sustained agriculture: An introduction. Chapter 1. In: Maheshwari D, Dheeman S (eds) Field crops: Sustainable management by PGPR. Sustainable Development and Biodiversity. Springer, Cham. pp. 1-10. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30926-8_1.

Martínez-de la Cruz S, González-Fuentes JA, Robledo-Olivo A, Mendoza-Villarreal R, Hernández-Pérez A, Dávila-Medina MD (2025) Efecto de la aplicación de sustancias húmicas y rizobacterias en fruto de frambuesa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 16(1): ME:e3191. https://doi.org/10.29312/remexca.v16i1.3191.

Mier-Giraldo H, Díaz-Barrera LE, Delgado-Murcia LG, Valero-Valdivieso MF, Cáez-Ramírez G (2017) Cytotoxic and immunomodulatory potential activity of *Physalis peruviana* fruit extracts on cervical cancer (HeLa) and fibroblast (L929) cells. Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine 22(4): 777-787. https://doi.org/10.1177/2156587217718751.

Minitab (2019) Minitab® Statistical Software. Minitab, LLC. All Rights Reserved. Quality Plaza 1829 Pine Hall Rd State College, PA, USA. https://www.minitab.com/es-mx/. Fecha de consulta: 7 de enero de 2025.

Miranda D, Fischer G, Mewis I, Rohn S, Ulrichs C (2014) Salinity effects on proline accumulation and total antioxidant activity in leaves of the cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). Journal of Applied Botany and Food Quality 87: 67-73. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.010.

Miranda D, Fischer G (2021) Avances tecnológicos en el cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia. En: Fischer G, Miranda D, Magnitskiy S, Balaguera-López HE, Molano Z (eds) Avances en el cultivo de las berries en el trópico. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Bogotá, Colombia. pp. 14-36. https://doi.org/10.17584/IBerries.

Monroy-Velandia D, Coy-Barrera E (2021) Effect of salt stress on growth and metabolite profiles of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) along three growth stages. Molecules 26(9): 2756. https://doi.org/10.3390/molecules26092756.

Moreno-Reséndez A, García-Mendoza V, Reyes-Carrillo JL, Vásquez-Arroyo J, Cano-Ríos P (2018) Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. Revista Colombiana de Biotecnología 20(1): 68-83. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707.

Nosheen A, Yasmin H, Naz R, Bano A, Keyani R, Hussain I (2018) *Pseudomonas putida* improved soil enzyme activity and growth of kasumbha under low input of mineral fertilizers. Soil Science and Plant Nutrition 64(4): 520-525. https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1461002.

Obregón-La Rosa AJ, Contreras-López E, Flores-Juárez E, Gonzales-Barrón Ú, Muñoz AM, Ramos-Escudero F (2023) Nutritional and antioxidant profile of the *Physalis* fruit grown in three Andean regions of Peru. Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny 74(1): 49-57. https://doi.org/10.32394/rpzh.2023.0247.

Oleńska E, Małek W, Wójcik M, Swiecicka I, Thijs S, Vangronsveld J (2020) Beneficial features of plant growth-promoting rhizobacteria for improving plant growth and health in challenging conditions: a methodical review. Science of the Total Environment 743. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140682.

Olivares-Tenorio ML, Dekker M, Verkerk R, van Boekel MAJS (2016) Health-promoting compounds in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): review from a supply chain perspective. Trends in Food Science and Technology 57(part A): 83-92. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.009.

Pérez-Rodriguez MM, Pontin M, Lipinski V, Bottini R, Piccoli P, Cohen AC (2020) *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense* increase yield and fruit quality of tomato under field

conditions. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 20(4): 1614-1624. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00233-x.

Pérez-Rodriguez MM, Pontin M, Piccoli P, Lobato-Ureche MA, Gordillo MG, Funes-Pinter I, Cohen AC (2022) Halotolerant native bacteria *Enterobacter* 64S1 and *Pseudomonas* 42P4 alleviate saline stress in tomato plants. Physiologia Plantarum 174(4): e13742. https://doi.org/10.1111/ppl.13742.

Pii Y, Mimmo T, Tomasi N, Terzano R, Cesco S, Crecchio C (2015) Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. Biology and Fertility of Soils 51(4): 403-415. https://doi.org/10.1007/s00374-015-0996-1.

Pinzón EH, Reyes AJ, Álvarez-Herrera JG, Leguizamo MF, Joya JG (2015) Comportamiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* L., bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. Revista de Ciencias Agrícolas 32(2): 26-35. https://doi.org/10.22267/rcia.153202.10.

Rawat P, Das S, Shankhdhar D, Shankhdhar SC (2020) Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 21: 49-68. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7.

Reed L, Glick BR (2023) The recent use of plant-growth-promoting bacteria to promote the growth of agricultural food crops. Agriculture 13(5): 1089. https://doi.org/10.3390/agriculture13051089.

Sabino-López JE, Sandoval-Villa M, Alcántar-González G, Ortiz-Solorio C, Vargas-Hernández M, Colinas-León T (2018) Fecha de trasplante, boro, potasio y poda en la producción de frutos de *Physalis peruviana* L. en hidroponía e invernadero. Agrociencia 52(2): 255-265.

Sahu B, Singh J, Shankar G, Pradhan A (2018) *Pseudomonas fluorescens* PGPR bacteria as well as biocontrol agent: a review. International Journal of Chemical Studies 6(2): 01-07.

Sandini IE, Pacentchuk F, Hungria M, Nogueira MA, Cruz SP, Nakatani AS, Araujo RS (2019) Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* promotes growth, yield and reduces nitrogen application in maize. International Journal of Agriculture & Biology 22(6): 1369-1375. https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1210.

Shenstone E, Lippman Z, Van Eck J (2020) A review of nutritional properties and health benefits of *Physalis* species. Plant Foods for Human Nutrition 75(3): 316-325. https://doi.org/10.1007/s11130-020-00821-3.

Sultana B, Anwar F, Ashraf M (2009) Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. Molecules 14(6): 2167-2180. https://doi.org/10.3390/molecules14062167.

Thuy NM, Phuong NP, Suong CTD, Tai NV (2020) Physical and chemical characteristics of goldenberry (*Physalis peruviana*) grown in Lam Dong province, Vietnam. Food Research 4(4): 1217-1225. https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(4).085.

USDA (2019) Food Data Central of the United States Department of Agriculture. Oranges, raw, all commercial varieties. https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169097/nutrients. Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2024.

Wang X, Ran C, Fu Y, Han L, Yang X, Zhu W, Zhang H, Zhang Y (2024) Application of exogenous ascorbic acid enhances cold tolerance in tomato seedlings through molecular and physiological responses. International Journal of Molecular Sciences 25(18): 10093. https://doi.org/10.3390/ijms251810093.

Woo SL, Pepe O (2018) Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science 9(1801): 7-12. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01801.