



LA BIOFERTILIZACION AUMENTA EL TAMAÑO DE FRUTO, Y CALIDAD DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.) †

[BIOFERTILIZATION INCREASES FRUIT SIZE AND QUALITY OF JALAPEÑO CHILE (*Capsicum annuum* L.)]

J. Isabel Márquez-Mendoza¹, David Antonio Zúñiga-Gracia², Miguel Ángel Gallegos-Robles³, J. Guadalupe Luna-Ortega², Magdalena Galindo-Guzmán² and Aaron David Lugo-Palacios^{2*}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Periférico Raúl López Sánchez SN, 27054 Torreón, Coahuila de Zaragoza. Kilómetro 27, México. Email:

j_marquez@live.com.mx

²Universidad Politécnica de la Región Laguna, Calle Sin Nombre Sin Número. Ejido Santa Teresa, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México. C.P.

27942. Email: david.zuniga@uprl.edu.mx, lupe_lunao@yahoo.com.mx,

magda.galindo@uprl.edu.mx, garondlugo@hotmail.com *

³Facultad de Agricultura y Zootecnia UJED, Carretera Gómez Palacio - Tlahualilo Km. 32. Venecia, Gómez Palacio, Dgo. México. Email: garoma64@hotmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Chili peppers in Mexico are one of the most important crops from the cultural, agronomic, nutritional and economic points of view. **Objective:** To evaluate the effects of biofertilization on agronomic and quality variables of jalapeño peppers. **Methodology:** During the spring-summer 2023 cycle in the experimental field of the Polytechnic University of the Laguna Region, the following treatments were applied in a genotype of hybrid jalapeño pepper Orizaba F1 in the open field: T1: Chemical fertilization (160-80-00), T2: Phytohormones Cytokinins (3000 ppm), gibberellins (35 ppm), auxins (35 ppm) at a dose of 1 L/ha, T3: Growth-promoting bacteria (PCBs) (*Bacillus subtilis*: 1x10¹⁰ CFU, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter vinelandii*, *Pseudomonas fluorescens*: 1x10⁸ CFU), T4: Growth-promoting bacteria (PCBs) (*Bacillus subtilis*: 1x10¹⁰ CFU, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter vinelandii*, *Pseudomonas fluorescens*: 1x10⁸ CFU) + Chemical fertilization (80-40-00), T5: chemical fertilization (80-40-00). **Results:** Significant differences were detected in the variables diameter and length of fruits, so that the application of bacteria plus chemical fertilization (T4) was statistically higher with 32.10 and 79.67 cm respectively. The application of T3 showed capacity to increase flavonoids and vitamin C with a mean of 935.20 mgEAG 100 g⁻¹ and 123.20 mg 100 g⁻¹. In capsaicin content, T3 showed potential for the increase of this compound with 250.40 mg mL⁻¹. **Implications:** The study shows some results that can be used as a possible solution for the reduction of some chemical fertilizers in the cultivation of jalapeño peppers through the application of beneficial microorganisms. **Conclusion:** PCBs improve the growth and quality of jalapeño pepper fruits by increasing the content of flavonoids, vitamin C, capsaicin as well as the diameter and length of fruits, which may be associated with a biostimulant effect on the crop.

Key words: Phytohormones; capsaicin; chemical fertilization; beneficial microorganisms.

RESUMEN

Antecedentes: El chile en México es uno de los cultivos más importantes desde los puntos de vista cultural, agronómico, nutricional y económico. **Objetivo:** Evaluar los efectos de la biofertilización en variables agronómicas y de calidad de chile jalapeño. **Metodología:** Durante el ciclo primavera-verano 2023 en el campo experimental de la Universidad Politécnica de la Región Laguna se aplicaron los siguientes tratamientos en un genotipo de chile jalapeño híbrido Orizaba F1 a campo abierto: T1: Fertilización química (N 160-P80-K00), T2: Fitohormonas Citocininas (3000 ppm), giberelinas (35 ppm), auxinas (35 ppm) a una dosis de 1 L/ha, T3: Bacterias promotoras del crecimiento (BPC) (*Bacillus subtilis*: 1x10¹⁰ UFC, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter vinelandii*, *Pseudomonas*

† Submitted March 13, 2024 – Accepted November 2, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5467>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = J.I. Márquez-Mendoza: <http://orcid.org/0009-0002-1736-0945>; D.A. Zúñiga-Gracia: <http://orcid.org/0009-0006-4691-8249>; M.Á. Gallegos-Robles: <http://orcid.org/0000-0001-7303-9561>; J.G. Luna-Ortega: <http://orcid.org/0000-0001-7226-920X>; M. Galindo-Guzmán: <http://orcid.org/0000-0001-8169-4398>; A.D. Lugo-Palacios: <http://orcid.org/0009-0008-0637-5379>

fluorescens: 1×10^8 UFC) , T4: Bacterias promotoras del crecimiento (BPC) (*Bacillus subtilis*: 1×10^{10} UFC, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter vinelandii*, *Pseudomonas fluorescens*: 1×10^8 UFC) + Fertilización química (80-40-00), T5: Fertilización química (80-40-00). **Resultados:** En las variables diámetro y longitud de frutos se detectaron diferencias significativas, por lo que la aplicación de bacterias más fertilización química (T4) resultó estadísticamente superior con 32.10 y 79.67 cm respectivamente. La aplicación del T3 presento capacidad para el aumento de flavonoides y vitamina c con una media 935.20 mgEAG 100 g^{-1} y 123.20 mg 100 g^{-1} . En el contenido de capsaicina el T3 mostro potencial para el acrecentar de este compuesto con 250.40 mg mL^{-1} . **Implicaciones:** El estudio muestra algunos resultados que pueden servir o efectuarse como una posible solución para la reducción de algunos fertilizantes químicos en el cultivo de chile jalapeño mediante la aplicación de microorganismos benéficos. **Conclusión:** Las BPC mejoran el crecimiento y la calidad de frutos de chile jalapeño al aumentar el contenido de flavonoides, vitamina C, capsaicina así como el diámetro y longitud de frutos, lo que puede estar asociado con un efecto bioestimulante en el cultivo.

Palabras clave: Fitohormonas; capsaicina; fertilización química; microorganismos benéficos.

INTRODUCCION

El chile es un elemento fundamental en la gastronomía y cultura de México, ya que la producción y el comercio de chiles son una parte importante de la economía agrícola, así como también el valor nutricional que aporta como fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes. En la Comarca Lagunera en el año 2022 y 2023 se cultivaron 423 y 551.40 hectáreas de chile verde de diferentes tipos en estos abunda la producción de chile jalapeño, los municipios con mayor superficie sembrada correspondientes a los dos estados que comprenden la Región Laguna son Gómez Palacio, Durango y San Pedro, Coahuila con 155 y 73 hectáreas en el año 2023 (SIAP, 2023). Durante décadas, el uso indiscriminado de productos químicos, como fertilizantes sintéticos han llevado a efectos negativos en los suelos como la degradación del suelo que pueden propiciar la infertilidad a largo plazo (Mendoza et al., 2023).

Dentro del marco del cambio climático se proponen alternativas de fertilización (bioinsumos) de origen biológico capaces de aminorar el efecto negativo de los fertilizantes convencionales y reducir los costos de producción (Santos et al., 2019). Existen estudios preliminares a este en donde se demuestra que el empleo de material microbiológico como *Pseudomonas tolaasii* y *Bacillus pumilus* en plántulas de chile jalapeño y pimientos Bell Pepper aumentó la altura y diámetro de tallo, algunos otros efectos similares son reportados con la aplicación de *Rhizobium nepotum* y *Serratia plymuthica* para la producción de plántulas de chile poblano. El efecto favorable de la aplicación de BPC se debe a las aplicaciones en charola de germinación ya que la inoculación en plantas establecidas en campo dificultaría la colonización en las raíces además de tener un incremento en el costo de la mano de obra. Los mecanismos que tienen las BPC están relacionadas con la producción sideróforos y hormonas, la solubilización de fosfatos, potasio y zinc

síntesis de AIA. (Angulo-Castro et al., 2018; González-Mancilla et al., 2017; Chulze et al., 2023).

Desde el punto de vista de la seguridad agroalimentaria implica abastecer de alimentos en suficiencia, la calidad y rendimiento para cumplir con la demanda de comestibles y a su vez, ofrecer compuestos que mejoren la salud de la población (Willett et al., 2019). En la actualidad existe el interés por estudiar los compuestos bioactivos en frutos ya que se ha demostrado que el consumo de estas reduce el estrés oxidativo y modifica el perfil lipídico según Campozano et al. (2024). Existe cierta tendencia en la investigación de nutraceuticos, por ejemplo, fenoles y los flavonoides ya que son de tendencia para la aplicación en las industrias alimentarias (Vargas-Sánchez et al., 2023). Con el objetivo de generar información pertinente y fomentar la reducción de fertilizantes químicos se realizó este trabajo de investigación con la finalidad de evaluar el comportamiento de un genotipo de chile jalapeño bajo diferentes fuentes de fertilización, así como también la acumulación de compuestos bioactivos.

MATERIALES Y METODOS

Localización del experimento

La investigación se realizó en el campo experimental de la Universidad Politécnica de la Región Laguna en el ciclo primavera-verano del 2023, en el municipio del San Pedro en el estado de Coahuila de Zaragoza ubicado en las coordenadas geográficas son 25° 46' 57.8" N 103° 11' 44.3" O. La región corresponde a un clima seco desértico, con lluvias en verano e invierno fresco, la precipitación pluvial media anual es de 258 mm y la evaporación media anual de 2,000 mm y una temperatura media anual de 21 °C con máximas de 33.7 °C y mínimas de 7.5 °C (Pedroza-Sandoval et al., 2024).

Establecimiento del experimento

La obtención de plántulas se realizó en charolas de germinación de 200 cavidades. El trasplante se efectuó a los 55 días después de la siembra (DDS) con la aparición de cuatro hojas verdaderas cuando las plántulas alcanzaron entre los 12 y 15 cm de altura. En la parcela experimental se realizaron surcos de 70 cm de ancho y el trasplante se estableció a un distanciamiento de plantas fue de 40 cm. La densidad de plantación fue de 35,500 plantas ha⁻¹.

Genotipo

Se empleó chile jalapeño híbrido Orizaba F1 de semillas comercializadas por Harris Moran®. Es una variedad vigorosa de ciclo intermedio, produce chiles de tamaño largo y/o extralargo. El color del fruto se fluctúa entre verde y rojo y alcanza hasta 3000 unidades en la escala de Scoville (SHU).

Análisis físico químico del suelo

Previo al establecimiento del experimento se realizaron determinaciones fisicoquímicas de suelo del sitio experimental en el laboratorio de química de la Universidad Politécnica de la Región Laguna para disponer del empleo y la incorporación de la fertilización química. Los protocolos de laboratorio se realizaron en base a las especificaciones de fertilidad de suelos establecidos según NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000) (Tabla 1).

Tabla 1. Características fisicoquímicas del suelo usado para la evaluación de tratamientos de fertilización y bioestimulación en chile jalapeño.

Determinación	Resultado
N-NO ₃ (mg L ⁻¹)	17.14
P (mg L ⁻¹)	13.82
K (mg L ⁻¹)	535
Fe (mg L ⁻¹)	2.41
M.O. (%)	1.25
C.E. (mS cm ⁻¹)	3.02
pH.	7.92

Diseño experimental

Se administraron cinco tratamientos con cuatro repeticiones, la unidad experimental y la parcela útil fue de 6 y 4 plantas respectivamente (Tabla 2). Se aplicó un diseño en bloques al azar. La superficie total de la parcela experimental fue 8.75 m², el tamaño de la parcela útil fue de 2.6 m².

Tabla 2. Descripción de los tratamientos de fertilización química y bioestimulantes aplicados de chile jalapeño.

Tratamiento	Descripción
1	100% FQ
2	FH
3	BPCV
4	BPCV+50%FQ
5	50%FQ

Nota; FQ= Fertilización química, FH=fitohormonas, BPCV=bacterias promotoras del crecimiento vegetal

Aplicación de la biofertilización

Se emplearon cuatro cepas las cuales se encontraban aisladas de diferentes proyectos de investigación que se desarrollaron en el laboratorio de biología de la UPRL, identificadas como *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp., *Pseudomonas* sp. a una concentración de 1x10⁸ UFC mL⁻¹, y *Bacillus* sp. con una concentración de 1x10¹⁰ UFC mL⁻¹. La aplicación se llevó a cabo a los 49 DDS mediante la inoculación en la charola de germinación con una jeringa de 10 mL⁻¹ y una solución bacteriana de 40 mL⁻¹ de medio líquido, posteriormente se realizaron dos aplicaciones por vía foliar a los 14 y 60 días después de trasplante (DDT) con un aspersor manual de 20 L marca Jacto® diluyendo la solución bacteriana mencionada anteriormente en cuatro litros de agua.

Aplicación de las fitohormonas

La aplicación del bioestimulante (fitohormonas) se realizó al follaje en el inicio de la floración después de cada corte a una dosis de un litro por hectárea mediante un aspersor manual de 20 litros marca Adir®. Se utilizó un producto comercial con las siguientes concentraciones de fitohormonas; Citocininas (3000 ppm), giberelinas (35 ppm), auxinas (35 ppm).

Incorporación de la fertilización química

Para los requerimientos de nitrógeno (N) y fósforo (P) se incorporó mezcla física al suelo de UREA (46-00-00) y MAP (11-52-00) con la finalidad de complementar la 160N-80P-00K. Los aportes respectivos al tratamiento uno (T1) fueron los siguientes; 295 kg ha⁻¹ de UREA y 111 kg ha⁻¹ de MAP. El aporte correspondiente al tratamiento cinco (T5) fue; 147.50 kg ha⁻¹ de UREA y 55.50 kg ha⁻¹ de MAP.

Variables de respuesta

En cada uno de los tratamientos aplicados se consideraron las siguientes variables de crecimiento

vegetativo y rendimiento: Botones florales (BFL), número de flores (NFL), amarre de frutos (ADF), altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de frutos (NF), peso de frutos (PF) y como variables de calidad: Diámetro de frutos (DDFR) longitud de frutos (LDFR), fenoles (FNL), flavonoides (FLV), actividad antioxidante (DPPH), vitamina c (VITC) y capsaicina (CAP), siguiendo las metodologías que se indican a continuación.

Medición de las variables de crecimiento vegetativo

El registro de BFL se llevó a la práctica en cuatro mediciones a los 25, 41, 67 y 89 DDT mediante la contabilización de tejidos jóvenes que posteriormente se convirtieron en inflorescencias. Se realizaron siete lecturas para el conteo de NF a los 31, 34, 40, 46, 66 y 87 DDT. Para el conteo del ADF se registraron los ovarios en fase de crecimiento después de la caída los pétalos de la flor a los 48,66 y 89 DDT. La altura de planta y diámetro de tallo se realizó a los 94 DDT con flexómetro escala 5.5 m y vernier con escala 127 mm.

Rendimiento

Se realizaron 6 cortes en los cuales se contó el número de frutos/planta. El pesaje de frutos se realizó en una báscula digital gramera marca Ohaus® y se registró en g por planta⁻¹.

Diámetro y longitud de frutos

El calibre de fruto se midieron con un vernier marca Pretul® en cinco cortes realizados, y se determinó el diámetro máximo ecuatorial en centímetros.

Fenoles

El material vegetal se secó a temperatura ambiente para después ser pulverizado y se homogenizó a un tamaño de malla de 2-3 mm en un molino tipo Willye R-TE-650/1. A una cantidad de 100 g de peso seco se añadió reactivo de Folin Ciocalteu al extracto metanólico, con posterior adición de carbono de sodio y calentamiento en baño maría a 45 °C. La absorbancia de la solución se leyó a 765 nm en un espectrofotómetro (Hach DR/4000). Se calculó el contenido fenólico mediante una curva de calibración utilizando ácido gálico (Sigma) como estándar. Los resultados se registraron en mg de equivalente de ácido gálico (EAG) por 100 g de peso fresco con base en el método propuesto por (Esparza *et al.*, 2006)

Flavonoides

La cuantificación se realizó en tres frutos frescos de cada tratamiento y repetición los cuales se lavaron

con agua potable durante 2 min para eliminar residuos y posteriormente se cortaron en rodajas y se liofilizaron durante cinco días. El material liofilizado se trituró manualmente utilizando un mortero y se almacenó a -18 °C en tubos de plástico Eppendorf hasta extraer el compuesto metanólico, el cual se obtuvo al seleccionar una muestra de 100 mg y mezclarlos con 5 mL de metanol, en un tubo de plástico con más adelante al extracto metanólico se le añadió NaNO₂, seguido de adiciones sucesivas de AlCl₃ y de NaOH. La absorbancia se midió a 510 nm en el espectrofotómetro. Los resultados obtenidos se expresaron en mg equivalentes de catequina (EQ) por 100 g de peso fresco, con el método propuesto por Zhishen *et al.* (1999).

Vitamina C

Se determinó con el método descrito por Doner y Hicks (1981). Las muestras se inyectaron en un equipo de cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC, Varian ProStar 320) con detector UV-Vis (ProStar 210, Prostar Varian Inc., Walnut Creek, CA, USA). Se utilizó una columna de Amina de 10 cm y un serpentín de inyección de 20 L.

Actividad antioxidante

Se determinó basándose en el método descrito por Brand-Williams *et al.*, (1995), según el cual se preparó una solución de radical libre 1.1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH⁺) (Sigma-Aldrich) en metanol. La prueba de capacidad antioxidante se realizó mezclando la muestra del extracto metanólico con la solución DPPH⁺ y realizando las lecturas a 517 nm en el espectrofotómetro. La capacidad antioxidante total se calculó utilizando una curva estándar con el antioxidante de referencia Trolox y los resultados se expresaron en µM equivalentes de Trolox por g de peso fresco.

Capsaicina

Se cuantificó mediante una adaptación del método de Cisneros-Pineda *et al.*, (2007). La absorbancia de los extractos metanólicos de las muestras se midió a 273 nm en el espectrofotómetro.

Análisis estadístico de la información

Los datos fueron analizados mediante ANOVA, en caso de significancia se procedió a ejecutar comparación de medias por Tukey al 95% (P<0.05). Previamente se verificó el cumplimiento de la normalidad a través de Shapiro-Wilk (n < 50) y Kolmogorov-Smirnov (n > 50) dependiendo del número de observaciones para cada variable. Además, se determinó homogeneidad de varianzas.

Se empleó el paquete estadístico SAS Institute Inc., 2016 (Versión 9.4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Botones florales, número de flores y amarre de frutos

En las variables de conteo de órganos reproductivos como botones florales (BFL), número de flores (NF), y amarre de frutos (ADF), no se observaron diferencias significativas por efecto de los tratamientos evaluados. Situación que podría estar asociada con el tiempo al cual se realizaron las mediciones de estas variables (Tabla 3). Al respecto, Cruz *et al.* (2014) concluyeron que los efectos de las cepas aplicadas en *Capsicum* spp. se reflejan hasta 14 días después de la aplicación. Silva-Agunto *et al.* (2023) mencionan que algunas fitohormonas involucradas en la inducción de la floración como el ácido giberélico están relacionadas con la apertura o formación de flores verdaderas, pero no con el incremento del número de estas lo que podría explicar los resultados observados.

Altura y diámetro de tallo

En la altura y diámetro de tallo de plantas de chile no se encontraron efectos significativos ni diferencias estadísticas entre tratamientos para estas dos variables (Tabla 3). Sin embargo, existió una diferencia numérica predominante en la altura de las plantas tratadas con BPCV (T3) pero sin mostrar diferencias estadísticas. Los resultados encontrados en esta variable en la presente investigación no coinciden con los resultados obtenidos por Aguirre y Espinosa (2016) quienes si informaron un aumento de la altura de plantas de chile jalapeño inoculadas con *Azospirillum brasilense*.

Diámetro y longitud de frutos

Como se muestra en la Figura 1 en el diámetro de los frutos el T1(100FQ%), T3 (BPCV)y T4 (BPCV+50%FQ) fueron estadísticamente iguales, y el T2(FH) resultó con el menor valor 2.26 cm. La mayor longitud de fruto se presentó en el T4(BPCV+50%FQ), el T1(100FQ%) y el T3(BPCV) y resultaron estadísticamente iguales, pero únicamente el T4 resulto estadísticamente superior al T2 y T5. El T2 (FH) y el T5(50%FQ) presentaron la menor longitud (SEM=5.19). Los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan parcialmente con los indicados por García *et al.* (2024) dado que si observan de BPCV en plantas de chile jalapeño resultó efectiva en el aumento de la longitud de los frutos de primer, segundo y tercer corte y en la presente investigación únicamente resulto superior cuando se aplicaron en combinación con 50% de la dosis de FQ en la variable de longitud de fruto.

Rendimiento

En las variables de rendimiento únicamente se detectaron diferencias significativas en el promedio de peso de frutos por planta por efecto de los tratamientos aplicados como se muestra en la Figura 2. La mayor producción en g de fruto por planta se obtuvo en el T1 (FQ100%) con 138.17 y en segundo lugar el T4 (BPCV+50%) y T3 (BPCV) con 124.73 y 117.02, y resultaron estadísticamente similares, y únicamente superiores en comparación con el T2 (FH) con el que se presentó el promedio más bajo. Estos resultados coinciden con lo informado por Díaz *et al.* (2023) donde la aplicación de fertilizante de síntesis química en chile jalapeño generó los rendimientos más altos en comparación con el uso de biofertilizantes como fuente de fertilización. Así con

Tabla 3. Comparación de medias de variables vegetativas de plantas de chile jalapeño tratadas con fertilización química y bioestimulantes.

Tratamiento	BFL (#)	NFL (#)	ADF (#)	AP (cm)	DT (cm)
100% FQ	46.00 a	6.16 a	15.58 a	177.00 a	4.70 a
FH	47.68 a	5.83 a	14.41 a	145.00 a	3.57 a
BPCV	47.87 a	6.37 a	14.83 a	180.63 a	4.50 a
BPCV + 50%FQ	50.74 a	7.04 a	19.75 a	167.50 a	4.45 a
50%FQ	42.62 a	5.08 a	11.58 a	162.00 a	3.75 a
Valor P	0.6383	0.8905	0.252	0.493	0.1096
S.E.M.	3.24	0.601	2.25	6.73	0.178
CV%	31.75	109.67	56.67	17.81	15.40

BFL = Botones florales, NFL = número de flores, ADF = amarre de frutos, AP = altura de planta, DT = diámetro de tallo. Valor P= probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula, S.E.M=Error estándar de medición, CV% = coeficiente de variación. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. Prueba Tukey 95% (P<0.05).

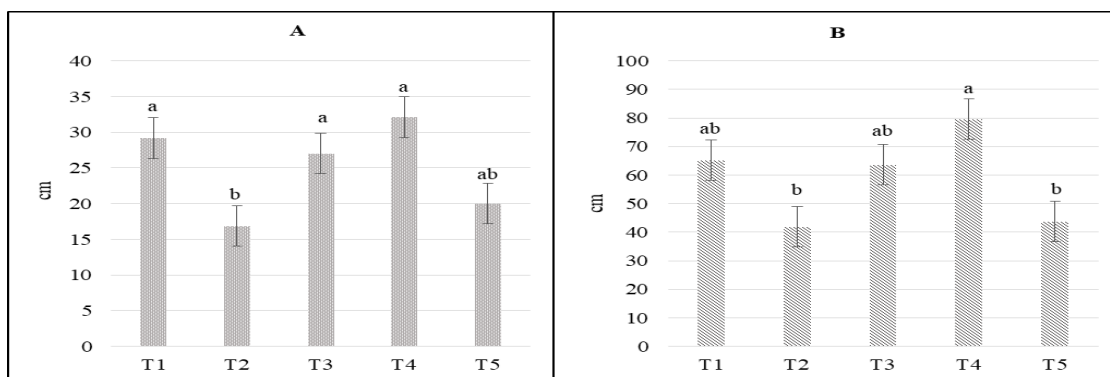


Figura 1. Promedio de diámetro frutos; (A) y longitud de frutos (B).

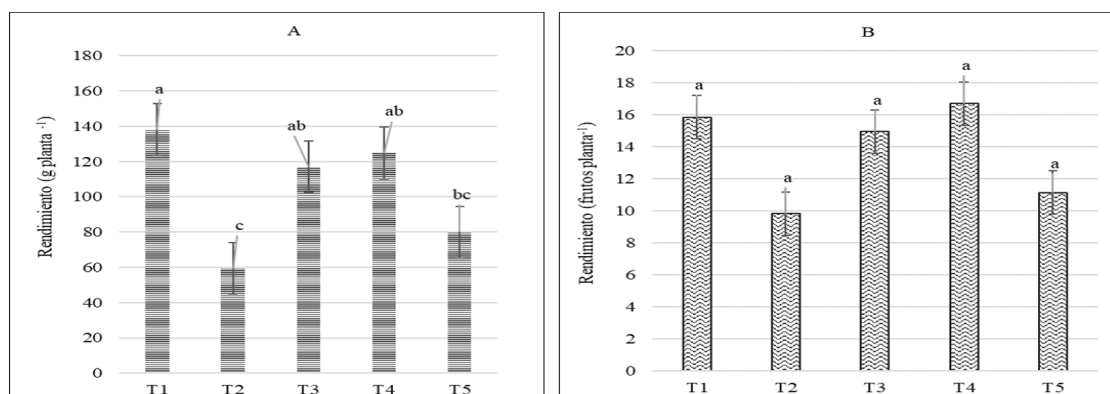


Figura 2. Promedio obtenido del rendimiento representado en (A) gramos por planta; de y (B) frutos por planta, S.E.M: Error estándar de medición.

lo informado por Ayala-Tafoya *et al.* (2022) quienes experimento en el cual aplicaron fertilización sintética en chile jalapeño y obtuvieron rendimientos de 12.9 t/ha respecto a donde se aplicaron bioinsumos con 5.3 t/ha. Aunque Aguirre y Espinosa (2016) reportaron resultados donde la inoculación de bacterias como *Rhizopagus intrardices*, *A. brasilense* y *Pseudomonas fluorescens* aumentó la productividad en chile jalapeño en cuanto al peso de frutos y número de frutos, y en las plantas en donde se realizó la evaluación individual de *R.intrardices* mostró potencial para aumentar el peso de frutos, superando los 10 g/planta, sin embargo en la producción de número de frutos predominó la aplicación de *R. intrardices* y *A.brasilense* generó 20 frutos/planta.

Contenido de Fenoles

La aplicación de FH (T2) mejoró significativamente el contenido fenólico con 23.81%, siendo este el mejor tratamiento comparación con el resto. El T5 (50%FQ), obtuvo 20.57% sobre el T1 (100%FQ) con una diferencia porcentual de 2.89% entre estos dos. Mientras que el T3 (BPCV) y el T4 (BPCV+50%FQ) fueron estadísticamente iguales adquiriendo 18.91 y 19.01% (S.E.M.=27.79) (Tabla 4). Acerca de las

BPCV, existen resultados similares reportados por Sánchez *et al.* (2022) en donde no se encontraron resultados positivos en cuanto a la acumulación de fenoles mediante la aplicación de un consorcio microbiano ya que los frutos pertenecientes al control fueron superiores en el contenido fenólico. Herrera *et al.* (2022) argumenta que la acumulación de fenoles en las especies pertenecientes al género *Capsicum* está asociado a los mecanismos de defensa por lo que incluyen una familia de genes que codifican para la fenilamina amonio liasa (PAL), los cuales son precursores en procesos de reforzamiento de las paredes celulares. Sin embargo, Rophael *et al.* (2017) señalan que la biosíntesis de estos metabolitos responde al estrés de bajas temperaturas al comparar dos temperaturas en alcachofas biofertilizadas mediante consorcios de micorrizas (*R. intrardices*, *Funneliformis mosseae* y *Trichoderma atroviride*) y en la que observaron un incremento del compuesto bioactivo.

Contenido de flavonoides

El mayor contenido de flavonoides se obtuvo con el uso de BPCV (T3) con 27.66%, seguido de 50%FQ (T5). El uso FH (T2) no presentó diferencias significativas en comparación con 50%FQ (T5). El

T1 (100%FQ) y el T4 (BPCV+50%FQ) resultaron ser estadísticamente e inferiores al uso de BPCV respectivamente (Tabla 4). Estudios de investigación subyacentes resaltan la influencia de la aplicación de abonos orgánicos sobre los flavonoides (Amnifard y Bayat, 2016; Espinosa *et al.*, 2020). No obstante Ortega-García *et al.*, (2015) explica que los inoculantes microbianos tienen poca capacidad de intervenir en la síntesis de enzimas como peroxidasa y polifenoloxidasas encargadas de la producción de flavonoides. Otro estudio, Rosas *et al.* (2020) encontraron diferencias estadísticas en el contenido de flavonoides en frutos de tomatillo sometido a concentraciones altas de NaCl respecto a donde se evaluó una dosis más baja. Mientras que Chandrasekaran *et al.* (2019) reportaron un incremento significativo en el contenido de flavonoides en frutos de tomate inoculados con *B. subtilis*.

Vitamina C

El uso de BPCV (T3) resultó con el mayor contenido de Vitamina C El (FH) (Tabla 4). Los tratamientos con FH, BPCV+50%FQ y 50%FQ generaron efectos estadísticamente iguales, y todos mostraron valores superiores al uso de 100%FQ. Los resultados presentados en esta investigación coinciden con los indicados por González *et al.* (2018) en el que aplicaron un consorcio de BPCV en tomate y observaron aumentó de este compuesto. En otro estudio, Esitken *et al.*, (2010) mencionan resultados similares en fresa con la inoculada con de BA-8 *Bacillus*, OSU-142 *Bacillus*, M-3 *Bacillus* y *P. fluorescens*. con las que se observó un incremento en el contenido de ácido ascórbico. Smoleń *et al.* (2015) y Lara *et al.*, (2023) demostraron que con aplicaciones de KI y KIO₃ se obtiene un aumento en el contenido de vitamina C.

Actividad antioxidante (DPPH)

La mayor actividad antioxidante en frutos se obtuvo con las BPCV (T3) y con 50%FQ (T5), pero resultaron estadísticamente superiores únicamente en comparación con el tratamiento de 100%FQ. (Figura 3). Esto concuerda con lo indicado por Li *et al.* (2008) quienes observaron que con la aplicación de *B. subtilis* y *T. harzianum* se tienen preferencia a la síntesis de moléculas de carácter hidrofílico con base en esto se menciona que la actividad antioxidante puede aumentar con la aplicación de BPCV siempre y cuando se utilice el método de DPPH ya que se reconocen fácilmente estas moléculas a diferencia de cuando se usan otros métodos. El mecanismo mencionado anteriormente radica en la eficiencia de encapsulación de agente bioactivo hidrofílico encapsulado en la matriz polimérica con respecto a la cantidad inicial (González *et al.*, 2015). Mientras que Jiménez-Ortega *et al.* (2024) lograron demostrar que la actividad antioxidante de los extractos de tres genotipos diferentes de chile jalapeño, está en función del proceso de oxidación a nivel celular causado por el oxígeno. Otros criterios, como el de Preciado *et al.* (2015) le atribuyen los efectos de la actividad antioxidante al estrés nutricional en las plantas debido a las sales solubles y al contenido de nitrógeno.

Capsaicina

El mayor contenido de capsaicina se encontró en frutos de plantas tratadas con BPCV (T3) resultó estadísticamente diferente únicamente en comparación con el efecto de 100%FQ Y 50%FQ aumento de 26.44 % en comparación con la aplicación de la fertilización química 50%FQ (T5) (Figura 3). Niñirola *et al.* (2014) concluyeron que la actividad microbiana está en función de algunos parámetros físicos y químicos del suelo como pH y conductividad eléctrica (C.E.), mientras que Preciado *et al.* (2024) concluyeron que algunos microorganismos

Tabla 4. Comparación de medias para el contenido de fenoles, flavonoides y vitamina C en frutos de chile jalapeño por efecto de la aplicación de tratamientos de fertilización y bioestimulantes.

Tratamiento	FNL mgEAG 100 g ⁻¹	FLV mgEAG 100 g ⁻¹	VIT C mg 100 g ⁻¹
100%FQ	766.16 c	453.90 c	77.00 c
FH	1031.40 a	734.50 b	93.00 b
BPCV	819.15 bc	935.20 a	123.20 a
BPCV+50%FQ	823.84 bc	492.90 c	99.00 b
50%FQ	891.02 b	763.70 ab	103.40 b
Valor P	0.0244	0.0043	0.001
S.E.M.	27.7	54.2	4.45
CV%	11.59	22.78	10.86

FNL = fenoles, FLV = flavonoides, VIT C = vitamina C. Valor P= probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula, Valor F= valor de distribución, S.E.M.= Error estándar de medición, CV%=coeficiente de variación. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. Prueba Tukey 95% (P<0.05)

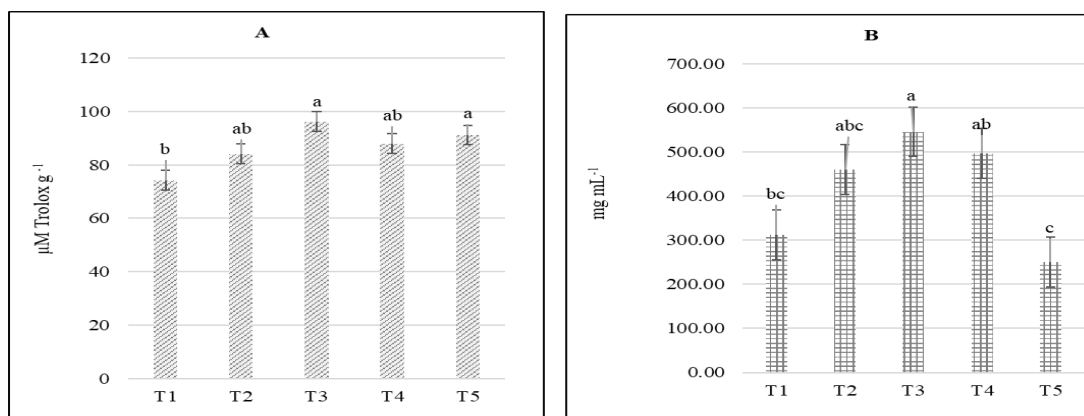


Figura 3. Actividad antioxidante; (A) y contenido de capsaicina; (B) en frutos de chile jalapeño tratados con fertilización química y bioestimulantes.

pueden adaptarse en condiciones moderadamente salinas y con un pH neutro. Se aprecia que el uso de BPCV (T3) en plantas de chile jalapeño aumentó la capacidad de la planta de producir capsaicinoides en comparación con el uso de FQ aplicada al 100 y 50% de la dosis de fertilización, y existen investigaciones previas que demuestran el efecto de sustancias estimuladoras de crecimiento como el ácido salicílico sobre el aumento en la capsaicina en frutos de chile (Sandoval *et al.*, 2011). De la misma manera Roque *et al.* (2021) afirman que *B.subtilis* activa mecanismos de resistencia sistemática inducida por medio de la señalización del jasmonato y el etileno de manera que la activación se realiza por medio de la ruta del ácido salicílico; por lo que los resultados observados pueden estar asociados a un efecto bioestimulante en las plantas de chile con el uso de las BPCV evaluadas.

CONCLUSIONES

El uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal influyo manera favorable en la calidad morfológica de frutos, así como el contenido de flavonoides, vitamina C, actividad antioxidante y contenido de capsaicina, por un posible efecto bioestimulante en las plantas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Posgrado de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango y a la Universidad Politécnica de la Región Laguna.

Funding. This research was developed through a master's scholarship supported by CONAHCYT with CVU number 1184133 to the first author.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability: Data is available from D.A. Zúñiga-Gracia and A.D. Lugo-Palacios.

Author's Contribution Statement (CRediT). D.A. Zúñiga-Gracia — Conceptualization, Writing – original draft; M.Á. Gallegos-Robles – Resources, Supervision; J.G. Luna-Ortega – Validation, Research; M. Galindo-Guzmán - Acquisition of funds, Writing – Revision and editing; A. David Lugo-Palacios - Formal Analysis, Software. J.I. Márquez Mendoza- Investigation

REFERENCES

- Aguirre, J.F. and Espinosa, J.A., 2016. Crecimiento y rendimiento de *Capsicum annuum* L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), pp.1539–1550. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.148>
- Alcivar, M.F., Vera, J.H., Serrano O., Arévalo, B., Pachar, L., Castillo, Carlosama, L., Arizabal, J. and Paltán, N., 2021. Aplicación de lixiviados de vermicompost y respuesta agronómica de dos variedades de pimiento. *Revista Colombiana de Ciencias Animales* 13(1), pp.50–58. <https://doi.org/10.24188/recia.v13.n1.2021.793>
- Aminifard, M. and Bayat, H., 2016. Effect of vermicompost on fruit yield and quality of bell pepper. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 3(2), pp.221-229. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2017.209130.129>

- Angulo-Castro, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J.J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M. and García-Barradas, O., 2018. Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plántulas de 2 variedades de *Capsicum annuum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrícicos arbusculares. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(2), pp.178-188. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.011>
- Ayala-Tafoya, F., Encines-Chaidez, O.V.E., Parra, J.M., Valenzuela, M., López, G.A. and Yáñez, M.G., 2022. Producción de chile jalapeño en mini-túnel en respuesta a la fertilización sintética, orgánica y carbónica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3). <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3412>
- Brand, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), pp.25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cruz, R.S., Yáñez-Ocampo, G. and Wong-Villareal, A., 2014. Effect of nodulating bacteria on the seed germination of *Capsicum* spp. *African Journal of Microbiology Research*, 8(7), pp.659-663. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6494>
- Cisneros-Pineda, O., Torres, L.W., Gutiérrez, L.C., Contreras, F., González, T. and Peraza, S.R., 2007. Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in the state of Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, 104(4), pp.1755-1760. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.076>
- Chulze, S.N., 2023. Agentes de control biológico de origen microbiano para reducir el impacto en hongos patógenos y toxigenicos. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(1), pp.1-3 <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.02.001>
- Chandrasekaran, M., Chun, S.C., Oh J.W., Paramasivan M., Saini, R.K. and Sahayarayan, J.J., 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), pp.838 <https://doi.org/10.3390/agronomy9120838>
- Campoazano, E.G.D., Sabando, J.R.V., Delgado, J.B.H., Vera, J.P.F., Mendoza, A.N.C. and Moreira, Á.V.C., 2024. Características químicas y antioxidantes en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en la maduración de cosecha. *Dominio de las Ciencias*, 10(2), pp.44-59. <https://doi.org/10.23857/dc.v10i2.3790>
- Díaz, J., Meza, P. A., González, B. M., Leyva, O. R. and Cebada-Merino, M., 2023. Fertilización química y orgánica y su efecto sobre el rendimiento de chile serrano (*Capsicum annuum* L.): Fertilización en chile Serrano. *Revista Bio Ciencias*, 10. pp.1-15 <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1472>
- Doner, L.W. and Hicks, K.B., 1981. High-performance liquid chromatographic separation of ascorbic acid, erythorbic acid, dehydroascorbic acid, dehydroerythorbic acid, diketogulonic acid, and diketogluconic acid. *Analytical Biochemistry*, 115(1), pp.225-230. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(81\)90550-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(81)90550-9)
- Esitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Donmez, M.F., Turan, M. and Gunes, A., 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae Amsterdam*, 124: pp.62-66. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.012>
- Esparza, J.R., Stone, M., Stushnoff, C., Pilon, E. and Kendall, P., 2006. Effects of Ascorbic Acid Applied by Two Hydrocooling Methods on Physical and Chemical Properties of Green Leaf Lettuce Stored at 5°C. *Journal of Food Science*, 71(3), pp.270-276. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15653.x>
- Espinosa, B., Cano, P., Salas, L., González, G., Reyes, A., Ayala, A.V. and Preciado, P., 2020. Vermicompost on the production and nutraceutical quality of jalapeño pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(4), pp.795-803. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.605>
- García, J.A., Cuevas, F.D.M., Viveros, J.A.F., Mireles, H.C. and Castillo, R.C., 2024. Efecto de bioestimulantes microbianos en plántulas y frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) producidos en macrotúnel.: Bioestimulantes en chile

- jalapeño. *Revista Bio Ciencias*, 11. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1566>
- González, E., González, A., Castro, R., Luna, H. and Chávez, A., 2015. Implementación de la técnica de doble emulsión para la microencapsulación polimérica de moléculas iónicas. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2, 117-125.
- González, G., Espinosa, B., Cano-Ríos, P., Moreno, A., Leos, L., Sánchez, H. and Sáenz-M.J., 2018. Influencia de rizobacterias en la producción y calidad nutraceutica de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), pp.367-379. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1078>
- González-Mancilla, A., Almaraz-Suárez, J.J., Ferrera-Cerrato, R., Rodríguez-Guzmán, M.D.P., Taboada-Gaytán, O.R., Trinidad-Santos, A. and Arteaga-Garibay, R.I., 2017. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(3), 463-474. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.03.09>
- Herrera, K.P.H. and Chávez, J.A.S., 2022. Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante de extractos foliares de *Ipomoea pes-caprae* (Convolvulaceae). *Temas agrarios*, 27(2), pp. 354-365. <https://doi.org/10.21897/rta.v27i2.3137>
- Jiménez-Ortega, L. A., de Jesús Bastidas-Bastidas, P., Heredia, J. B., Leyva-López, N. and Gutiérrez-Grijalva, E. P., 2024. Valorización de biomásas agrícolas de chiles para la obtención de nutraceuticos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(3), pp.3675-3675. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i3.3675>
- Lara, A. Y., Rojas, Á.N., Alcalá, J.A., Alia, I., Méndez-, H. and Hernández-Montoya, A., 2023. Biofortificación con yodo, actividad antioxidante y minerales (*Solanum melongena* L.). *Revista Fitotecnica Mexicana*, 46(4), pp.399-399. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.399>
- Li, J., Zhu, Z. and Gerendás, J., 2008. Efectos del nitrógeno y el azufre sobre los compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante en dos genotipos de mostaza de hoja. *Revista de Nutrición Vegetal*, 31(9), pp.1642-1655. <https://doi.org/10.1080/01904160802244860>
- Mendoza, S. S., Jorrín, L. G. and Alvarez, J.L.D., 2023. Validación del método de Evaluación Visual de Suelos en Ferralíticos Rojos cubanos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 13(2), pp.21-28. <https://cu-id.com/2284/v13n2e04>
- Niñirola, D., Nicola, S., Pignata, G., Egea-Gilbert, C. and Fernandez, J., 2014. Efecto de las PGPR en la producción y vida útil del berro (*Nasturtium officinale*) cultivado en bandejas flotantes. *Investigación Agroalimentaria*, 3, pp.135-138.
- Ortega-García, J., Montes, R., Rodríguez, M., Ramírez-, J.A., Suárez, R., Sepúlveda, G., 2015. Effect of *Trichoderma asperellum* applications and mineral fertilization on growth promotion and the content of phenolic compounds and flavonoids in onions. *Sci. Horti-Amsterdam*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.027>
- Pedroza-Sandoval, A., Xolocotzi Acoltzi, S., Trejo Calzada, R., García de los Santos, G., Álvarez Vázquez, P., Arreola Ávila, J.G., Pedroza Sandoval, A., Xolocotzi Acoltzi, S., Trejo Calzada, R., García de los Santos, G., Álvarez Vázquez, P. and Arreola Ávila, J.G., 2024. Índice de área foliar e indicadores de productividad forrajera de *Lotus corniculatus* L. en diferentes contenidos de humedad del suelo y estaciones del año. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 15(1), pp.17-31. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i1.6472>
- Preciado, P., García, K.M., Fortis, M., Trejo, R., Rueda, E.O. and Esparza, J.R., 2015. Nutraceutical quality of cantaloupe melon fruits produced under fertilization with organic nutrient Solutions. *Ciencia e Investigación Agraria: Revista Latinoamericana de Ciencias de la Agricultura*, 42(3), pp.475-481. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202015000300015>
- Preciado, P., Murillo, B., Hernández, L.G., Espinoza, B., Parra, S. and Rivas, T., 2024. Interacción conductividad eléctrica y ácidos húmicos en el rendimiento y calidad nutraceutica de frutos de *Capsicum annuum* L. cv Arista. *Bioagro*, 36(1), pp.71-84. <https://doi.org/10.51372/bioagro361.7>
- Roque, A., Delgado, J.C., Beltrán, M., Ochoa, Y.M. and Cerna, E., 2021. Parámetros

- agronómicos del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculado con " *Candidatus Liberibacter solanacearum*" y tratados con fosfitos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(1). <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2552>
- Rosas, I., Colmenero, A., Naranjo, N., Ávila, J.A. and Almaraz, N., 2020. La salinidad incrementa el contenido de flavonoides, de antocianinas y el potencial hipoglucemiante de tomatillo (*Physalis ixocarpa*). *e-CUCBA*, (13), pp.9-9. <https://doi.org/10.32870/e-cucba.v0i13.144>
- Sánchez, M., Ruíz-Sánchez, E., Muñoz-Rodríguez, D., Chan Cupul, W. and Medina-Dzul, K., 2022. Efecto de inoculantes microbianos en los compuestos bioactivos y actividad antioxidante del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). *Biotecnia*, 24(3), pp.123-131. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1691>
- Sandoval, A., Benavides, A., Alvarado, M.A., Foroughbakhch, R., Núñez-González, M.A. and Robledo-Torres, V., 2011. Influencia de ácidos orgánicos sobre el crecimiento, perfil bromatológico y metabolitos secundarios en chile piquín. *Terra Latinoamericana*, 29(4), pp.395-401.
- Santos, M.S., Nogueira, M.A. and Hungria, M., 2019. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express*, 9(1), p.205. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0>
- SAS Institute Inc., 2016. SAS/ACCESS® Interface to ADABAS (Versión 9.4). Available at: https://www.sas.com/en_sa/software/software-downloads.html
- SEMARNAT, 2000. NOM-021-RECNAT-2000: Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. [online] UNEP. Available at: <https://leap.unep.org/en/countries/mx/national-legislation/nom-021-recnat-2000-especificaciones-de-fertilidad-salinidad-y> [Accessed 11 March 2024].
- SIAP, 2023. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). [online] Sistema de Información Agroalimentaria. Available at: <http://www.gob.mx/siap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta> [Accessed 11 March 2024].
- Silva-Agunto, C., Leiva, M., Macarena, T. and Sánchez, N.E., 2023. Influencia del ácido giberélico (AG3), etanol y cianamida hidrogenada (Dormex) sobre la brotación de yemas a partir de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. var. Cecilia. *Revista Bionatura*, 8(3), pp. 19. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.03.19>
- Smoleń S., Wierzbńska, J., Sady, W., Kolton, A., Wiszniewska, A. and Liszka-Skoczylas, M., 2015 Iodine biofortification with additional application of salicylic acid affects yield and selected parameters of chemical composition of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae* 188, pp.89-96. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.023>
- Vargas-Sánchez, R.D., Torres-Martínez, B. del M., Torrescano-Urrutia, G.R. and Sánchez-Escalante, A., 2023. Caracterización fisicoquímica, tecno-funcional y antioxidante de la piel plateada del café. *Biotecnia*, 25(1), pp.43-50. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1755>
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L.J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J.A., Vries, W.D., Sibanda, L.M., Afshin, A., Chaudhary, A., Herrero, M., Agustina, R., Branca, F., Lartey, A., Fan, S., Crona, B., Fox, E., Bignet, V., Troell, M., Lindahl, T., Singh, S., Cornell, S.E., Reddy, K.S., Narain, S., Nishtar, S. and Murray, C.J.L., 2019. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), pp.447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W., 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), pp.555–559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)