

Producción sustentable de melón (*Cucumis melo* L.) Zacapa con microorganismos benéficos

Sustainable production of Zacapa melon (*Cucumis melo* L.) with beneficial microorganisms

José Mario Miranda-Ramírez¹ , Catarino Perales-Segovia² , Ernesto González-Gaona³ , Lucila Perales-Aguilar^{4*} 

¹Tecnológico Nacional de México / ITS de Apatzingán, km 3.5 carretera Apatzingán-Aguililla, CP. 60710. Apatzingán, Michoacán, México.

²Tecnológico Nacional de México / IT El Llano Aguascalientes. Km. 18 carretera Aguascalientes-San Luis Potosí, CP 20330. Aguascalientes, México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CIRNOC Campo Experimental Pabellón. Kilómetro 32.5 Carretera Aguascalientes – Zacatecas. CP. 20660. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.

⁴Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga, carretera a la estación de Rincón Km 1. CP. 20670. Aguascalientes, México.

*Autor de correspondencia: lucila.pa@pabellon.tecnm.mx

Artículo científico

Recibido: 27 de agosto 2024

Aceptado: 12 de junio 2025

RESUMEN. En México, se investiga muy poco sobre los microorganismos benéficos utilizados como biofertilizantes para el cultivo del melón, esto implica el insuficiente empleo por parte de los agricultores. Ante ello, se evaluó el efecto de los microorganismos benéficos en el cultivo del melón tipo Harper [Zacapa] a cielo abierto con relación al crecimiento y rendimiento. El experimento se realizó en el Crucero de la Ruana municipio de Buenavista, Michoacán, México. Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con trece tratamientos y diez repeticiones. La unidad experimental fue una planta de melón. Los tratamientos evaluados fueron cinco microorganismos benéficos *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense*, *Trichoderma harzianum* y *Glomus fasciculatum* (sin *Rhizophagus fasciculatus*), siete mezclas de estos entre sí, comparados con un testigo sin aplicación, se midieron diez variables: diámetro de tallo principal, rendimiento, peso de fruto, entre otras. La toma de datos se realizó a los 70 días después del transplante. Los mejores resultados para la variable diámetro de tallo principal se presentaron en las mezclas *Trichoderma harzianum* + *Glomus fasciculatum* y *Azospirillum brasilense* + *Glomus fasciculatum* con 10.60 y 10.51 mm respectivamente. En rendimiento, los valores más altos favorecieron a *Bacillus subtilis*; *Trichoderma harzianum* y la mezcla *Bacillus subtilis* + *Azospirillum brasilense* con 31.78, 29.49 y 27.79 t ha⁻¹ o 1 765.54, 1 638.43 y 1 543.70 Cajas Bruce ha⁻¹, respectivamente. El mayor tamaño de fruto se alcanzó con *Glomus fasciculatum*, por lo que se justifica el uso de estos microorganismos.

Palabras clave: Crecimiento, rendimiento, fructificación, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*.

ABSTRACT. In Mexico, there is very little research on beneficial microorganisms used as biofertilizers for melon cultivation, which implies insufficient use by farmers. The effect of beneficial microorganisms in open-air cultivation of Harper melon [Zacapa] was evaluated in relation to growth and yield. The experiment was carried out at Crucero de la Ruana, Buenavista municipality, Michoacán, Mexico. A completely randomized experimental design was used, with thirteen treatments and ten repetitions. The experimental unit was a melon plant. The treatments evaluated were five beneficial microorganisms *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense*, *Trichoderma harzianum* and *Glomus fasciculatum* (syn *Rhizophagus fasciculatus*), seven mixtures of these, compared with a control without application and ten variables were measured: Main Stem Diameter, Yield, Fruit Weight, among other. Data collection was done 70 days after transplant. The best results for the Main Stem Diameter variable were presented in the mixtures *Trichoderma harzianum* + *Glomus fasciculatum* and *Azospirillum brasilense* + *Glomus fasciculatum* with 10.60 and 10.51 mm respectively. In the Yield, the highest values favored *Bacillus subtilis*; *Trichoderma harzianum* and the mixture *Bacillus subtilis* + *Azospirillum brasilense* with 31.78, 29.49 and 27.79 t ha⁻¹ or 1 765.54, 1 638.43 and 1 543.70 Bruce boxes ha⁻¹, corresponding. The biggest fruit size was achieved with *Glomus fasciculatum*, reason why the use of this microorganism is justified.

Keywords: Growth, yield, fruiting, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*.

Como citar: Miranda-Ramírez JM, Perales-Segovia C, González-Gaona E, Perales-Aguilar L (2025) Producción sustentable de melón (*Cucumis melo* L.) Zacapa con microorganismos benéficos. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): e4291. DOI: 10.19136/era.a12n2.4291

INTRODUCCIÓN

El origen del melón (*Cucumis melo* L.) se sitúa en el sur de Asia donde se pueden encontrar especies silvestres (MAGA 2024). En Michoacán México, se cultiva la variedad cantalupo (melón redado) y de acuerdo con el SIAP (2024) se establecen 3 532 ha por año aproximadamente, que generan ingresos por USD \$ 69.81 millones de dólares.

En México, entre 2015 y 2020, se han publicado antecedentes sobre el uso de microorganismos como biofertilizantes en 51 cultivos; sin embargo, el melón no se encuentra entre ellos, ya sea por la escasa investigación que hay o por su ausencia. Esta situación ha derivado en un uso limitado de estos insumos por parte de los agricultores (Coutiño-Puchuli *et al.* 2023). Esto probablemente se debe al desconocimiento de las comunidades biológicas que habitan los suelos (Alfonso *et al.* 2005). Otros factores son la nula transferencia de tecnología (Dias *et al.* 2023) y el efecto inmediato que generan los fertilizantes químicos en el incremento del tamaño de los frutos (González-Salas *et al.* 2021) que en la agricultura convencional juegan un papel clave para alcanzar y mantener niveles altos de productividad y rentabilidad (Cruz-Romero *et al.* 2021).

No obstante, han surgido sistemas de producción con un enfoque sustentables, lo cuales buscan reducir el uso de fertilizantes químicos, plaguicidas y otros productos (Roset y Altieri 2019, Ruíz-González 2023). Estos sistemas se sustentan en el aprovechamiento de microorganismos benéficos, como bacterias y hongos que ayudan a mejorar la productividad de los cultivos. Entre las bacterias más usadas en estos sistemas de producción destacan los géneros *Azospirillum* y *Bacillus* (Pascutti *et al.* 2024); reconocidas por su capacidad de promover el crecimiento vegetal, razón por la cual se les denomina Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), (Licea-Herrera *et al.* 2020). También los hongos se utilizan en estos sistemas de producción, entre los más comunes se encuentran los géneros *Trichoderma* como bioestimulante del crecimiento vegetal (Alfiky y Weisskopf 2021), *Metarhizium* como agente de control biológico de plagas (Hernández-Rosas *et al.* 2019) y las endomicorrizas del género *Glomus* que mejoran la nutrición fosforada de las plantas e incrementan la tolerancia a sequía (Faggioli y Symanczik 2018). Existen investigaciones muestran resultados interesantes sobre el impacto de estos microorganismos benéficos en cultivos como melón Top Mark en el que se reporta un incremento del crecimiento de 2.9% en el diámetro del cuello, 4.5% en el número de hojas y 18.3% en peso de follaje seco de las plantas inoculadas con *Bacillus subtilis* en comparación con el testigo (Ayvar-Serna *et al.* 2021). También Copetta *et al.* (2020) reportan que plantas de melón micorrizadas florecieron y fructificaron una semana antes que las no inoculadas y mejoró la germinación, elongación de las raíces y mayor concentración de azúcares en frutos. Mientras que Angulo-Castro *et al.* (2018) reportaron que la inoculación HMA *Funneliformis aff. geosporum* + *Claroideoglomus* en plantas de pimiento tipo Bell Pepper y Jalapeño resultó en mayor altura con respecto al testigo (sin microorganismos) y al testigo fertilizado; también las plantas de pimiento tipo Bell inoculadas con la bacteria *Pseudomonas tolaasii* presentaron un incremento significativo en el área foliar en comparación con el testigo (sin microorganismos). Mientras que Luna-Fletes *et al.* (2023), observaron que el tratamiento con *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense* y *Bacillus mucilaginosus* en una concentración de 5×10^6 UFC mL⁻¹ de cada bacteria + Biol de estiércol de cabra, aumentó un 31.2% el peso de fruto del melón en relación con el testigo sin microorganismos y con

fertilizante orgánico. En tanto, que Délano-Frier *et al.* (2024), reportan que la inoculación de plantas de tomate con *B. subtilis* promovió mayor crecimiento en las etapas vegetativas, observando a los 44 días después del trasplante (ddt), se detuvo el crecimiento del diámetro del tallo, mientras que las plantas inoculadas con *Enterobacter* sp. y *B. subtilis* aumentaron la producción de frutos de tomate del 80% (3.791 kg planta⁻¹) y 31% (2.737 kg planta⁻¹), respectivamente; en comparación con las plantas no inoculadas (2.081 kg por planta⁻¹) a los 75 ddt. Por lo antes expuesto, se planteó como objetivo evaluar el efecto de los microorganismos benéficos en el cultivo del melón tipo Harper (Zacapa Gold) a cielo abierto en relación al crecimiento y rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y caracterización del experimento

El sitio del experimento se ubicó en el municipio de Buenavista, Michoacán México, en el km 2 de la carretera Crucero de la Ruana Michoacán a Tazumbos, Jalisco, a los 19° 13' 52" LN, 102° 40' 13" LO, a 418 msnm. El tipo de suelo es vertisol pélico arcilloso (INEGI 1983), con clima tipo BS1 (h') W (W) que corresponde al grupo de climas secos BS1 (García 2004) con temperatura media anual de 33.5 °C y 599.3 mm de precipitación media anual (SMN-CONAGUA 2024).

Material vegetal

Melón híbrido tipo Harper Zacapa, desarrolla una planta vigorosa y fuerte, produce de 8 a 10 frutos por metro, 17 °Brix en fruto, color de pulpa naranja intenso con cavidad firme y apretada de epidermis color crema con red fina (US Agriseeds 2024).

Producción de la plántula

El proceso de producción de plántula se llevó a cabo en una casa sombra al 80%, en una superficie de 200 m². Para la germinación se utilizaron contenedores de polipropileno negro de 108 cavidades, con cono tipo forestal y capacidad de volumen de 70 cc por cono. Se usó sustrato comercial Sunshine® #3, (musgo *Sphagnum* sp.), con vermiculita, CE 1.3 µS cm, pH 5.5; nitrógeno 35 ppm, fósforo 15 ppm, potasio 35 ppm presentes en un 15% de la mezcla y la siembra fue directa en el mes de octubre. Los riegos se realizaron de forma manual aplicando 1 L de agua por contenedor todos los días durante las primeras horas del día.

No se presentaron plagas de chupadores, aun así, se aplicó repelente de insectos comercial Oleotech Garlic (aceite de *Allium sativum* 20%) de la casa comercial Biotech/México + adherente Inex A® (alcohol graso etoxilado al 20.2%) de Cosmocel/México, ambos en dosis de 1 mL L⁻¹ con un aspersor de mochila manual portátil con capacidad de volumen para 15 L, de la marca SWISSMEX, modelo COSMOS®, previo a llevar la plántula a campo. Con relación a la prevención de hongos y bacterias, no se aplicó ningún producto químico, solamente los microorganismos de los tratamientos evaluados (Tabla 1) en dosis de 5 mL L⁻¹ y *Glomus fasciculatum* 10 g L⁻¹ en el riego cada tercer día, durante 15 días.

Tabla 1. Tratamientos de microorganismos evaluados en el experimento de melón.

Microorganismos	Dosis	Unidades	Tratamientos												
			^v T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
PF	200	L ha ⁻¹		•					•				•		
BS	200	L ha ⁻¹			•					•			•	•	•
AB	200	L ha ⁻¹				•					•		•	•	
TH	100	L ha ⁻¹					•					•	•		•
GF	12	kg ha ⁻¹						•	•	•	•	•	•		

PF = *Pseudomonas fluorescens* (5.8×10^7 UFC mL⁻¹); BS = *Bacillus subtilis* (6.3×10^7 UFC mL⁻¹); AB = *Azospirillum brasilense* (7.1×10^7 UFC mL⁻¹); TH = *Trichoderma harzianum*, (6.1×10^7 UFC mL⁻¹); GF = *Glomus fasciculatum* (325 esporas x 50 g de suelo). ^vT1 = Solamente se aplicó agua, sin microorganismos.

Manejo agronómico

Para la preparación del terreno se empleó plástico para acolchar de color plata-negro (polietileno calibre 100 µm) de 1.20 m de ancho, perforado a 30 cm y cintilla de riego de la marca Toro®, diámetro de 16 mm, con separación entre emisores de 30 cm y con un gasto hidráulico por emisor de 1.0 L por hora, colocada a doble hilera. Con relación a los riegos, las láminas se determinaron de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo, con relación al clima y al suelo con intervalos de cada tercer día y lámina de riego de 3 a 5 cm de noviembre a enero.

Para el manejo de plagas de insectos chupadores se utilizó agribón de 17 g m² de 1.80 m de ancho tapando las plántulas de melón a los tres días posteriores al transplante, por 22 días. Enseguida, se inició con las aplicaciones de los repelentes de insectos comerciales Fractal (extracto de cítrico 9.99%) Berni Labs/México, en dosis de 2 mL L⁻¹, Ovitech (ácidos orgánicos 20%, sales minerales 10%) Biotech/México, en dosis de 2 mL L⁻¹, Lifetech S60 (*Saccharopolyspora spinosa* 60 g, ácidos grasos concentrados 70%) Biotech/México, en dosis de 2 mL L⁻¹, Solak® (extracto de piretro *Chrysanthemum cinerariaefolium* 20% + extracto de eugenol *Syzygium aromaticum* 15%), Biologa/México, en dosis de 2 mL L⁻¹ y adherente Inex A® (alcohol graso etoxilado al 20.2%) de Cosmocel/México, en dosis de 1 mL L⁻¹. Para ello, se utilizaron aspersores con capacidad de volumen para 15 L (SWISSMEX, modelo LOLA®). Alternando los repelentes una vez por semana.

Para la prevención y manejo de enfermedades no se utilizó ningún producto químico, debido a que se evaluó el efecto de los microorganismos en los tratamientos. Al final del ciclo, tres días antes de la cosecha, se utilizó oxiclورو de cobre al 85% en dosis de 1.0 g L⁻¹ de forma foliar para controlar la doradilla. El control de maleza se realizó de forma manual una vez por semana con azadón.

Análisis de fertilidad de suelo y fertilización

Para determinar la nutrición mineral del cultivo se realizó un análisis de fertilidad de suelo y se envió a un laboratorio certificado, esto previo al establecimiento del experimento y como punto de referencia.

El análisis de fertilidad de suelo corroboró un pH 7.14 [1:2 H₂O] de reacción básica (Pérez-López 2013), MO 1.54%, [Carbón orgánico, Walkley & Black] (Jackson 1964) con un contenido moderadamente bajo (Castellanos *et al.* 2000), 25.6 mg kg⁻¹ de Nitrógeno Nítrico N-NO₃- [Brucina] (Sánchez 1994), contenido bajo (Arango-Pulgarín y Pérez-Naranjo 2005), sin indicar su

disponibilidad (Castellanos *et al.* 2000), 40 mg kg⁻¹ de Azufre de Sulfatos S-SO₄⁻² [Turbidimétrico] (Carrillo de Cori *et al.* 2010) contenido bajo (Romano 2012), 30 mg kg⁻¹ de Fosforo de Fosfatos [P-PO₄, Bray] (Yujra-Ticona y Miranda-Casas 2019) y 1.3 mg kg⁻¹ Zinc Zn⁺² [DTPA] (Lindsay y Norvell 1978) con contenido medio (Castellanos *et al.* 2000), 580 mg kg⁻¹ de Potasio K⁺ [Ac.NH₄ pH 7.0] (Chapman 1965), 1 230 mg kg⁻¹ de Magnesio Mg⁺² [Ac.NH₄ pH 7.0] (Chapman 1965, Soil Survey Staff 2014), 13.3 mg kg⁻¹ de Fierro Fe⁻² [DTPA] y 13.4 mg kg⁻¹ de Manganese Mn⁺ [DTPA] (Lindsay y Norvell 1978) con contenido moderadamente alto (Castellanos *et al.* 2000), 13 800 mg kg⁻¹ Calcio Ca⁺² [Ac.NH₄ pH 7.0] (Chapman 1965, Soil Survey Staff 2014) y 5.5 mg kg⁻¹ de Cu⁺² de Cobre Cu⁺² [DTPA] (Lindsay y Norvell 1978) con contenidos muy altos (Castellanos *et al.* 2000), 0.49 mg kg⁻¹ de Boro B⁺³ (Azometina-H) (Enriquez 1989) con contenido bajo (Sadeghian 2018), CIC 82.23 cmol (+) kg⁻¹ [NOM- 021-RECNAT-2000] (SEMARNAT 2002) alta (Castellanos *et al.* 2000), CE de 0.7 mS cm [NOM- 021-RECNAT-2000] (SEMARNAT 2002) normal, 450 mg kg⁻¹ de Sodio Na⁺ [Ac.NH₄ pH 7.0] (Chapman 1965) contenido alto con algunos problemas de sodicidad (Navarro-García y Navarro-García 2013) como interferir con el crecimiento de las plantas (Soil Survey Staff 2014) y textura de 41-33-26% de arcilla-arena-limo que corresponde a un suelo franco arcilloso (USDA 2024).

Durante todo el ciclo de producción del cultivo se aplicaron en el riego los siguientes fertilizantes: 37.5 kg ha⁻¹ de NH₄NO₃ (fosfonitrato), 25 L ha⁻¹ de HNO₃ (ácido nítrico), 47.5 kg ha⁻¹ de (NH₄)₂SO₄ (sulfato de amonio), 60 kg ha⁻¹ de NH₄H₂PO₄ (fosfato monoamónico), 220 kg ha⁻¹ de KCl (cloruro de potasio), 102.5 kg ha⁻¹ de K₂SO₄ (sulfato de potasio), 50 kg ha⁻¹ de 00-60-20 (N - P₂O₅ - K₂O, Pekacid), 25 kg ha⁻¹ de 19-19-19 (N - P₂O₅ - K₂O), 40 kg ha⁻¹ de Ca(NO₃)₂ (nitrato de calcio) y 9 kg ha⁻¹ de MgSO₄·7H₂O (sulfato de magnesio), a todos los tratamientos, distribuido en 10 semanas.

Diseño experimental y tratamientos

Se empleó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con 13 tratamientos y 10 repeticiones, la unidad experimental fue una planta de melón. Se evaluaron trece tratamientos y se aplicaron de manera dosificada una vez por semana, inyectados al término del riego, durante 10 semanas (Tabla 1). En una superficie de 853.2 m² se estableció el experimento con un total de 2 366 plantas de melón, distribuidas en trece surcos de 65.64 m², cada surco de 54.7 x 1.2 m que equivale a un tratamiento, con una distancia entre surcos de 2 m y entre plantas de 0.3 m, a hilera sencilla, con 182 plantas por tratamiento. De las cuales, se tomaron las muestras de 10 plantas interiores y las 172 plantas restantes se utilizaron como plantas de protección.

Los microorganismos evaluados se produjeron *in situ*, en un laboratorio de campo a partir de la cepa madre donada por el laboratorio experimental de biotecnología del Centro de Bachillerato Agropecuario (CBTA 70) de Tepalcatepec, Michoacán. Como punto de referencia se realizó un análisis microbiológico, se enviaron las muestras a un laboratorio certificado, esto previo al establecimiento del experimento.

Variables de estudio

Las variables evaluadas fueron las siguientes: 1) Diámetro de tallo principal (mm), se midió el grosor de tallo en la parte basal con un calibrador digital de la marca Hardened de escala graduada de 0.01 a 150 mm, con precisión de 0.01 a 0.3 mm. 2) Diámetro polar de fruto (cm), con un flexómetro de 3 m de longitud se midió el tamaño de fruto en sentido vertical, cuando el fruto

alcanzó madurez fisiológica. 3) Diámetro ecuatorial de fruto (cm), al igual que la variable anterior, se realizó el mismo procedimiento, pero el tamaño de fruto se midió de forma horizontal. 4) Relación longitud/ancho de fruto, se determinó con la relación del diámetro polar entre el diámetro ecuatorial. 5) Peso de fruto (kg), se determinó con el peso obtenido de frutos pesándolo en una báscula digital Truper BASE-5EP con capacidad para 5 kg. 6) Frutos por metro (número por m), se por medio de la cuantificación del número de frutos por metro cuadrado del surco en campo. 7) Rendimiento ($t\ ha^{-1}$) y número de Cajas Bruce ha^{-1} , las cuales se determinaron con los valores promedio de las variables peso de fruto y frutos por metro y se calculó por medio de: Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$) = [Peso de fruto kg * frutos por planta m^2] * [metros de cultivo por ha^{-1}] para luego convertir a $t\ ha^{-1}$. Después, se estimó el Rendimiento en Cajas Bruce $ha^{-1} = \frac{Rendimiento\ kg\ ha^{-1}}{Peso\ de\ la\ caja\ Bruce\ (18\ kg)}$ y los frutos se clasificaron de acuerdo a la cantidad almacenada por tamaño de los diámetros ecuatorial y polar (cm) en una caja Bruce de 18 kg aproximadamente (Tabla 2) (Arias-Suárez y Rico-Ponce 1996, Arias-Suárez *et al.* 1996). 8) Firmeza ($kg\ cm^2$), se determinó con un penetrómetro modelo GY-3 con escala en Newton (0 a 12) y $kg\ cm^2$ (0 a 24), marca Fruit Hardness, lo cual se midió insertando la punta de 5 mm en la pulpa (mesocarpio) de la parte central del fruto y se obtuvo la lectura correspondiente. 9) Sólidos solubles totales ($^{\circ}Brix$), se midió con un refractómetro digital Atago® Modelo PR-100. 10) Color de pulpa, se determinó en una escala numérica de 1 a 3 que representó tres colores de pulpa 1] blanco-crema, 2] amarillo-naranja y 3] naranja intenso. La toma de datos las variables se realizaron a los 70 días después del trasplante.

Tabla 2. Clasificación por tamaño y peso de frutos para mercado de exportación a EEUU (en cajas Bruce de 18 kg).

Tamaño	Frutos por caja Bruce (18 kg)	Diámetro mínimo (cm)*	Diámetro máximo (cm)*	Peso promedio de fruto (kg)
Grande	9	15x15	15x16	1.875
Grande	12	14x14	14x15	1.420
Grande	15	13x13	13x14	1.180
Mediano	18	12x12	12x13	0.935
Mediano	23	11x11	11x12	0.760
Chico	28	10x10	10x11	0.650
Chico	30	9x9	9x10	0.500

*Diámetro ecuatorial por diámetro polar

Análisis estadístico

Se realizó la prueba Levene's de normalidad y homocedasticidad de los datos de las varianzas (Post-Hoc), y un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar los efectos de cada tratamiento y la prueba de separación de medias Tukey ($p \leq 0.05$). Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico STATISTICA Version 13.3 (TIBCO Inc 2017).

RESULTADOS

La prueba Levene's de normalidad y homocedasticidad de los datos de las varianzas para todas las variables corroboró linealidad y distribución normal. El ANDEVA detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos para las variables diámetro de tallo principal (CV =

14.51%), rendimiento (CV = 34.89%), firmeza (CV = 44.28%), contenido de sólidos solubles totales (CV = 17.83%) y color de pulpa (CV = 1.84%). En cambio, no se observaron diferencias significativas las variables peso de fruto (CV = 18.89%), número de frutos por metro (CV = 32.42%), diámetro polar de fruto (CV = 8.04%), diámetro ecuatorial de fruto (CV = 6.88%) y relación longitud / Ancho [R L/A] (CV = 5.71%).

Diámetro de tallo principal

La prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) para tratamientos, muestra que los tratamientos T1, T3, T6, T7, T8 y T13 fueron estadísticamente iguales. Mientras que las mezclas del T9(AB+RF) con 10.51 mm y T10(TH+GF) con 10.60 mm mostraron un efecto de crecimiento significativo de 6.44 y 7.23% más con respecto al tratamiento T6(RF) con 9.83 mm. Pero el mayor DTP lo tuvo la mezcla del T12(BS+AB) con 11.08 mm (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados para las variables fenológicas del cultivo de melón (Tukey $P \leq 0.05$).

Número	Tratamiento	DTP (mm)	REND (t ha ⁻¹)	F (kg cm ²)	SST (°Brix)	CP (1,2,3)
T1	T	10.29 ± 0.35 abc	24.84 ± 2.02 abc	2.11 ± 0.27 a	9.45 ± 0.35 ab	2.94 ± 0.03 a
T2	PF	8.44 ± 0.16 a	24.04 ± 2.58 abc	2.07 ± 0.32 a	10.43 ± 0.60 ab	3.00 ± 0 b
T3	BS	9.47 ± 0.67 abc	31.78 ± 4.14 bc	4.45 ± 0.35 b	9.81 ± 0.59 ab	3.00 ± 0 b
T4	AB	11.04 ± 0.55 c	32.99 ± 3.60 c	4.45 ± 0.35 b	10.21 ± 0.50 ab	3.00 ± 0 b
T5	TH	8.84 ± 0.32 ab	29.49 ± 2.54 abc	3.58 ± 0.41 ab	9.43 ± 0.36 ab	3.00 ± 0 b
T6	GF	9.83 ± 0.44 abc	26.20 ± 2.23 abc	3.84 ± 0.29 ab	9.88 ± 0.50 ab	3.00 ± 0 b
T7	PF+GF	10.28 ± 0.37 abc	22.09 ± 3.06 abc	3.53 ± 0.67 ab	8.22 ± 0.48 a	3.00 ± 0 b
T8	BS+GF	10.33 ± 0.21 abc	19.72 ± 2.22 abc	2.71 ± 0.30 ab	11.20 ± 0.60 a	3.00 ± 0 b
T9	AB+GF	10.51 ± 0.31 bc	26.11 ± 2.76 abc	2.34 ± 0.22 a	10.51 ± 0.74 ab	3.00 ± 0 b
T10	TH+GF	10.60 ± 0.38 bc	19.03 ± 1.93 a	3.41 ± 0.37 ab	9.99 ± 0.59 ab	3.00 ± 0 b
T11	PF+BS+AB+TH+GF	8.83 ± 0.06 ab	22.46 ± 1.06 abc	2.55 ± 0.41 ab	10.81 ± 0.65 ab	3.00 ± 0 b
T12	BS+AB	11.08 ± 0.15 c	27.79 ± 3.00 abc	4.36 ± 0.39 b	10.58 ± 0.47 ab	3.00 ± 0 b
T13	BS+TH	9.79 ± 0.60 abc	27.02 ± 1.51 abc	3.45 ± 0.55 ab	9.67 ± 0.40 ab	3.00 ± 0 b
	DSH	2.458	0.370	0.002	0.192	0.001
	CV (%)	14.52	34.89	44.28	17.83	1.80

DTP = Diámetro de tallo principal (mm). REND = Rendimiento (t ha⁻¹). F = Firmeza de fruto (kg cm²). SST = Sólidos solubles totales. CP = Color de pulpa (1: blanco crema, 2: amarillo naranja; 3: naranja salmón). Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$). DSH = Diferencia Significativamente Honesta. CV = Coeficiente de variación. ± = Desviación estándar. T1) T = Testigo (sin microorganismos). T2) PF = *Pseudomonas fluorescens*. T3) BS = *Bacillus subtilis*. T4) AB = *Azospirillum brasilense*. T5) TH = *Trichoderma harzianum*. T6) GF = *Glomus fasciculatum*. T7) PF + GF *Pseudomonas fluorescens* + *Glomus fasciculatum*. T8) BS+GF = *Bacillus subtilis* + *Glomus fasciculatum*. T9) AB+GF = *Azospirillum brasilense* + *Glomus fasciculatum*. T10) TH+GF = *Trichoderma harzianum* + *Glomus fasciculatum*. T11) PF+BS+AB+TH+GF = *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* + *Azospirillum brasilense* + *Trichoderma harzianum* + *Glomus fasciculatum*. T12) BS+AB = *Bacillus subtilis* + *Azospirillum brasilense*. T13) BS+TH = *Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*.

Rendimiento

El rendimiento expresado en t ha⁻¹ registró para los tratamientos T1, T2, T5, T6, T7, T9, T11, T12 y T13 igualdad estadística ($p \leq 0.05$). El T3 [BS] mostró el rendimiento más alto con 31.78 t ha⁻¹, valor superior a los anteriores, y con relación al T1 tuvo una diferencia de 6.939 t ha⁻¹ que equivale a un 21.83% (Tabla 3).

El rendimiento expresado en cajas Bruce por ha⁻¹, presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) para la mayoría de los tratamientos (Tabla 4). El tratamiento T3 se distingue por presentar el valor significativo más alto con 1 765.54 cajas Bruce ha⁻¹. El T1 y T5 pertenecen al mismo grupo y mostraron ser estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$), pero con valores numéricos diferentes de 1 380.07 y 1 638.43 cajas Bruce ha⁻¹, respectivamente.

Tabla 4. Resultados del rendimiento de melón en Cajas Bruce (18 kg aproximadamente), con relación con tamaño de fruto (Tukey $p \leq 0.05$).

Número	Tratamiento	Tamaño de fruto [Diámetro promedio] (cm) [§]	Frutos por caja Bruce (No)	Rendimiento (Cajas Bruce de 18 kg ha ⁻¹)
T1	T	12.58 x 13.57	15	1 380.07 abc*
T2	PF	13.20 x 13.72	15	1 335.31 abc
T3	BS	13.09 x 13.78	15	1 765.54 bc
T4	AB	13.34 x 14.52	15	1 832.62 c
T5	TH	13.02 x 14.05	15	1 638.43 abc
T6	GF	13.75 x 14.42	12	1 455.41 abc
T7	PF+GF	12.70 x 13.41	15	1 226.98 abc
T8	BS+GF	12.62 x 13.42	15	1 095.41 ab
T9	AB+GF	13.30 x 13.58	15	1 450.42 abc
T10	TH+GF	12.85 x 13.63	15	1 057.01 a
T11	PF+BS+AB+TH+GF	13.39 x 14.49	15	1 247.78 abc
T12	BS+AB	13.11 x 14.42	15	1 543.70 abc
T13	BS+TH	13.04 x 13.62	15	1 500.89 abc

[§]Diámetro Ecuatorial x Diámetro Polar. *Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$). T1) T = Testigo (sin microrganismos). T2) PF = *Pseudomonas fluorescens*. T3) BS = *Bacillus subtilis*. T4) AB = *Azospirillum brasilense*. T5) TH = *Trichoderma harzianum*. T6) GF = *Glomus fasciculatum*. T7) PF + GF *Pseudomonas fluorescens* + *Glomus fasciculatum*. T8) BS+GF = *Bacillus subtilis* + *Glomus fasciculatum*. T9) AB+GF = *Azospirillum brasilense* + *Glomus fasciculatum*. T10) TH+GF = *Trichoderma harzianum* + *Glomus fasciculatum*. T11) PF+BS+AB+TH+GF = *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* + *Azospirillum brasilense* + *Trichoderma harzianum* + *Glomus fasciculatum*. T12) BS+AB = *Bacillus subtilis* + *Azospirillum brasilense*. T13) BS+TH = *Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*.

Firmeza

Siete tratamientos destacaron por presentar diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), los cuales fueron: T5, T6, T7, T8, T10, T11, y T13 con valores en un rango de 2.55 a 3.84 kg cm². Pero los tratamientos T3, T4, y T12 se distinguieron por registrar solo los mayores valores numéricos de todos los tratamientos.

Sólidos Solubles Totales

Esta variable mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en diez tratamientos, con un rango de 9.43 a 10.81°Brix (Tabla 3). Sin embargo, el tratamiento T7 mostró el valor numérico

más bajo con 8.22 °Brix y el T9 el valor numérico más alto con 11.20 °Brix y son estadísticamente diferentes.

Color de pulpa

Esta variable no mostró efecto significativo ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, pero si con respecto al testigo. El tratamiento T1 registro un valor numérico de 2.94 y 12 tratamientos mostraron un valor de 3.00 que corresponde a un color de pulpa naranja intenso.

DISCUSIÓN

Diámetro de tallo principal

Los mayores efectos de crecimiento en el tallo principal se presentaron en las plantas de melón inoculadas con las Rizobacterias *Azospirillum brasilense* y la mezcla de las Endobacterias *Bacillus subtilis* + *A. brasilense*. Estos efectos se deben principalmente a que las Rizobacterias fijadoras de nitrógeno del género *Azospirillum* han demostrado capacidad promotora del crecimiento (Velasco-Jiménez *et al.* 2020) en las plantas por medio de la producción de hormonas como ácido-3-indolacético (AIA) (Licea-Herrera *et al.* 2020). También mejoran la arquitectura de raíz, la absorción de nutrientes y estimulan un sistema de defensa inmune innato (Stringlis *et al.* 2018, Velasco-Jiménez *et al.* 2020, Aragón-Gómez *et al.* 2024).

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) mostraron un efecto de crecimiento significativo en los tallos de las plantas inoculadas con las mezclas de *Azospirillum brasilense* + *Glomus fasciculatum* y *Trichoderma harzianum* + *Glomus fasciculatum*, además de una compatibilidad en su asociación. Al respecto Garbaye (1991), asegura que las bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum* y los HFMA *Glomus fasciculatum* crean una asociación generalmente sinérgica y al mismo tiempo benéfica para la planta. Mientras que *T. harzianum* actúa como un estimulador de crecimiento en múltiples cultivos conjuntamente con los HFMA aumentando de manera significativa la rizosfera del suelo, permitiéndole a las plantas realizar una mayor extracción de nutrientes y con un alto grado de asimilación (Valdés-Ríos 2014). Los hongos rizosféricos *G. fasciculatum* involucran diferentes mecanismos directos de función fisiológica que aumentan la disponibilidad de los nutrientes y el agua a las raíces y/o incrementan el crecimiento vegetal (Saparrat *et al.* 2020).

Rendimiento

El rendimiento promedio de la producción nacional en México de melón durante el 2023 fue de 32.82 t ha⁻¹ (SIAP 2024), comparado con los resultados de este experimento, solo fue superado por las plantas inoculadas con la rizobacteria *Azospirillum brasilense* con 32.99 t ha⁻¹ (diferencia de + 0.17 t ha⁻¹), mientras que la endobacteria *Bacillus subtilis* registró 31.78 t ha⁻¹ (diferencia de - 1.04 t ha⁻¹) por debajo del promedio nacional. Resultados superiores a los encontrados en esta investigación, fueron reportados por González-Salas *et al.* (2021) en melón Cantaloupe cv Cruiser para los tratamientos con 80 unidades nitrógeno a base de estiércol y 80 unidades nitrógeno a base de urea + *Bacillus velezensis*, *Bacillus subtilis* y *Azospirillum brasilense* en 1×10^7 UFC (en ambos genotipos) alcanzando rendimientos de 38.67 y 37.83 t ha⁻¹, respectivamente.

Los resultados revelaron que la inoculación con *A. brasilense* además de favorecer el crecimiento en diámetro de tallo principal, aumentó el rendimiento en t ha^{-1} , por lo que pudo promover un mejor aprovechamiento del nitrógeno disponible en el suelo y en la atmósfera, esto no quiere decir que pueda sustituir la fertilización nitrogenada. Al respecto, Vendruscolo *et al.* (2019) reportaron resultados similares en plantas de melón inoculadas con *A. brasilense* en relación al testigo, ambos sin fertilización nitrogenada con rendimientos promedio 40.36 y 30.06 t ha^{-1} , con circunferencia ecuatorial de fruto de 46.33 y 42.15 cm, y transversal de 43.76 y 39.17 cm, respectivamente; dedujeron que esto se puede atribuir a la mayor capacidad de translocación de nutrientes favorecida por los mayores diámetros de tallo obtenidos en las plantas inoculadas con *A. brasilense*. Las plantas de melón que fueron inoculadas solamente con el hongo micorrízico *Glomus fasciculatum* registraron un tamaño de fruta más grande, 12 frutos por caja Bruce a diferencia de todas las demás con 15 frutos. Es importante señalar que la caja Bruce se caracteriza de acuerdo a la relación número de frutos vs tamaño de fruto.

Firmeza

El genotipo de melón tipo Harper Zacapa se caracteriza por desarrollar un fruto con cavidad firme y apretada (US Agriseeds 2024). En este experimento todos los tratamientos mostraron frutos con una consistencia de pulpa firme. Estos resultados, se deben principalmente a las características organolépticas que presenta el genotipo de melón Harper en el fruto al momento de la cosecha y no a los microorganismos. Al respecto, Neibauer y Maynard (2002) señalan que la firmeza es una característica varietal pero también puede ser un indicador del estado de madurez del fruto. Para Dinus y Mackey (1974) la firmeza de la pulpa está determinada en gran medida por el tipo y cantidad de constituyentes de la pared celular, principalmente por el contenido de pectina soluble, las estructuras de almidón y celulosa. La pectina y la celulosa son dos constituyentes que pueden provocar variaciones en la resistencia de la pared celular de la pulpa del fruto. Mientras que Gomes-Junior *et al.* (2001) aseguran que la firmeza es un componente importante para determinar la calidad de los frutos de melón. En otros resultados obtenidos por Monge-Pérez y Loria-Coto (2017) reportaron para los frutos de 18 genotipos de melón tipo Harper una firmeza de pulpa promedio de 1.96 kg cm^2 , lo cual indica que fueron frutos menos firmes en relación a lo observado en esta investigación para todos los tratamientos (Tabla 3).

La aplicación de microorganismos no altera la calidad física (firmeza) del fruto de melón, así lo señalaron Padilla *et al.* (2006) quienes observaron valores de 2.19 y 2.40 kg cm^2 en las plantas inoculadas de melón con *Azotobacter vinelandii* + *Clostridium pasteurianum* (Maya-Magic) y hongos + protozoarios + nemátodos benéficos (Soil-Plex), en los cuales, no se presentó diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) en relación al testigo. Estos resultados, fueron similares a los encontrados en esta investigación para el testigo, *P. fluorescens* y la mezcla *A. brasilense* + *G. fasciculatum* con valores numéricos de 2.11, 2.07 y 2.34 kg cm^2 que no presentaron un efecto significativo ($p \leq 0.05$).

Sólidos Solubles Totales

De acuerdo con US Agriseeds (2024), el parámetro de referencia en contenido de SST para melón Zacapa Gold es de 17.00 °Brix en el fruto. Comparado con los resultados de esta investigación, el rango registrado fue de 8.00 a 11.20 °Brix, valores muy por debajo del parámetro señalado. Sin embargo, El CODEX (2005), referencia 8.00 °Brix. Mientras que Vargas *et al.* (2008) y García-

Mendoza *et al.* (2019) describen que los sólidos solubles totales son un parámetro para medir la calidad del melón, si un fruto tiene menos de 9 °Brix no es comercializable, si contiene entre 9 y 12 °Brix es comercializable, y si presenta más de 12 °Brix posee una calidad extra. Estos parámetros de referencia pueden ser comparados con los resultados obtenidos en este experimento y se puede decir que son aceptables.

Las plantas inoculadas con los microorganismos *P. fluorenses*, *A. brasilense*, *B. subtilis* + *G. fasciculatum*, *A. brasilense* + *G. fasciculatum*, *P. fluorenses* + *B. subtilis* + *A. brasilense* + *T. harzianum* + *G. fasciculatum* y *B. subtilis* + *A. brasilense* registraron los mejores resultados con 10.40, 10.21, 11.20, 10.51, 10.81 y 10.58 °Brix en sus frutos, respectivamente. Estos microorganismos mostraron un efecto favorable de dulzura en la calidad interna del fruto de melón, al momento de la cosecha. Los resultados están acordes con lo reportado por Chien *et al.* (2009), quienes señalan que es posible incrementar la concentración de azúcares en los frutos, utilizando microorganismos solubilizadores de fosfato en la nutrición. Estos microorganismos producen ácidos orgánicos, que solubilizan los fosfatos insolubles en la zona rizosférica y son absorbidos por la planta (Beltrán-Pineda 2015).

Color de pulpa

Los resultados de esta variable revelaron que la inoculación de las plantas con microorganismos no tuvo efecto alguno en el color de pulpa de los frutos. Solamente se reflejó en el índice de madurez de cosecha que coincide con las características del fruto (color de pulpa naranja intenso) que referencia la compañía comercializadora (US Agriseeds, 2024). Este color se debe al alto contenido de betacaroteno y es una condición organoléptica propia del material vegetal utilizado. Al respecto, Borrego-Escalante *et al.* (2022) señalan que un carácter de gran importancia dentro de la apariencia interna del melón es el color de la pulpa.

CONCLUSIONES

El mayor efecto de crecimiento en diámetro principal de tallo de las plantas de melón se obtuvo con la bacteria *Azospirillum brasilense*, y los hongos *Glomus fasciculatum* y *Trichoderma harzianum*. Los mejores rendimientos expresados en Cajas Bruce por hectárea se alcanzaron con los microorganismos *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense* y *Trichoderma harzianum*. El mayor tamaño de fruto se alcanzó con *Glomus fasciculatum*, por lo que se justifica el uso de estos microorganismos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sr. José Manuel Ochoa Morales, Director General de la Agroempresa Papayas y Melones El Jefe 8A, por haber otorgado todas las facilidades en el huerto para que se pudiera llevar a cabo esta investigación.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Alfiky A, Weisskopf L (2021) Deciphering *Trichoderma*–plant–pathogen interactions for better development of biocontrol Applications. *Journal of Fungi* 7(1): 61. <https://doi.org/10.3390/jof7010061>
- Alfonso ET, Leyva Á, Hernández A (2005) Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Revista Colombiana de Biotecnología* 7(2): 47-54.
- Angulo-Castro A, Ferrera-Cerrato R, Alarcón A, Almaraz-Suárez JJ, Delgadillo-Martínez J, Jiménez-Fernández M, 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 micorrízicos arbusculares. *Revista Argentina de Microbiología* 50(2): 178-188. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.011>
- Aragón-Gómez WI, García-Velázquez BA, Delgado-Guizar CS (2024) Sistema inmune innato vegetal. *IBCIENCIAS* 7(1): 25-30.
- Arango-Pulgarín G, Pérez-Naranjo JC (2005) Determinación de nitratos y amonio en muestras de suelo mediante el uso de electrodos selectivos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 58(1): 2733-2740.
- Arias-Suárez JF, Ordaz-Ordaz F, Rico-Ponce HR (1996) Densidad optima de población en diferentes sistemas de producción para híbridos en melón (*Cucumis melo* L. var *reticulatus* nau) adaptados al valle de Apatzingán. Mich. Instituto de Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Campo Experimental del Valle de Apatzingán. Folleto técnico núm. 1. Michoacán, México. 23 pp.
- Arias-Suárez JF, Rico-Ponce HR (1996) Tamaño, calidad y producción en melón *Cucumis melo* L. con poda de guías y fruto en el valle de Apatzingán, Mich. Instituto de Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Campo Experimental del Valle de Apatzingán. Folleto técnico núm. 2. Michoacán, México. 38p.
- Ayvar-Serna S, Díaz-Nájera JF, Antonio MB, Navez MFP (2021) Aplicación de rizobacterias como promotoras de desarrollo en melón y agentes de biocontrol de *Nacobbus aberrans*. *Foro de Estudios sobre Guerrero* 8(1): 205-212.
- Beltrán-Pineda ME (2015) La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 15(1): 101-113. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:401
- Borrego-Escalante F, López-Tejeda SL, López-Benítez A, Benavides-Mendoza A, Murillo-Soto MM (2022) Componentes principales, correlaciones, análisis de sendero y algunos descriptores en genotipos de melón (*Cucumis melo* L.). *Revista Agraria* 19(1): 15-20.
- Carrillo-de Cori CE, Ruiz M, Aular LM, Mora R, Castillo L, Arrieche IE, Díaz T, Fernández S, Noguera R, Martínez A, Tovar MR (2010) Un método turbidimétrico para determinar azufre en fertilizantes inorgánicos. *Venesuelos* 18(1): 6-15.
- Castellanos JZ, Uvalle JX, Aguilar A (2000) Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2da Edición. Intagri. Celaya, Guanajuato, México. 201p.
- Chapman HD (1965) Cation exchange capacity. In: Black CA (eds) *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy* 9. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp. 891-901.
- Chien SY, Young CC, Wang CL (2009) Current status of bio-fertilizers development, farmers' acceptance and utilization, and future perspective in Taiwan. *Extension Bulletin. Food & Fertilizer Technology Center*

- for the Asian and Pacific Region. Sematic scholar. Taipei, Taiwan. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20093045358>. Fecha de consulta: 15 de abril de 2024.
- CODEX (2005) Reglamento Técnico Centroamericano, Alimentos y bebidas procesados. Néctares de frutas. Especificaciones. https://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/rtca/rtca_67_04_4808_nectares_frutas.pdf. Fecha de consulta: 28 de marzo de 2024.
- Copetta A, Todeschini V, Massa N, Bona E, Berta G, Lingua G (2020) Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves melon (*Cucumis melo*) fruit quality under field conditions and plant performance in both field and greenhouse. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology* 155(5): 1063-1074. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1813831>
- Coutiño-Puchuli AE, Peña-Borrego MD, Infante-Jiménez ZT (2023) Estudio bibliométrico sobre biofertilizantes en México durante el período 2015-2020. *Terra Latinoamericana* 41: 1-14. e1449. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1449>
- Cruz-Romero CE, Moran-Castro CE, Carrasco-Schuldt ÁS., Torres-Jaramillo LA (2021) Capacitación para la transferencia de tecnología en el uso y manejo seguro de plaguicidas agrícolas. *Dominio de las Ciencias* 7(3): 1410-1422. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i3.2063>
- Délano-Frier JP, Flores-Olivas A, Valenzuela-Soto JH (2024) Bio-Inoculation of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.) with *Enterobacter* sp. DBA51 increases growth and yields under open-field conditions. *Agronomy* 14(702): 1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040702>
- Dias FX, Ventura R, Bueno MP (2023) Transferência de tecnologia na agricultura 4.0. *Observatorio de La Economía Latinoamericana* 21(11): 21865-21887. <https://doi.org/10.55905/oelv21n11-177>
- Dinus L, Mackey AC (1974) Atributos químicos y físicos del melón relacionados con la textura. *Revista de Estudios de Textura* 5: 41-50. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1974.tb01086.x>
- Enriquez SA (1989) Análisis de boro en suelos y plantas mediante el método de azometina-H. *Terra* 7: 13-20.
- Faggioli V, Symanczik S (2018) Servicios eco-sistémicos provistos por hongos formadores de micorrizas y efecto de las prácticas de manejo en cultivos de base agroecológica. En: Ulle J, Díaz BM (eds) *El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas*. Ediciones INTA. San Pedro, Buenos Aires, Argentina pp. 87-106.
- Garbaye J (1991) Biological interactions in the mycorrhizosphere. *Experientia* 47(4): 370-375.
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ta Edición. Editorial Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Geografía. México. 97p.
- García-Mendoza V, Cano-Ríos P, Reyes-Carrillo JL (2019) Harper-type melon hybrids have higher quality and longer post-harvest life than commercial hybrids. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 25(3): 185-197. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2019.05.008>
- Gomes-Júnior J, Menezes JB, Nunes GH, Costa FB, Souza PA (2001) Qualidade pós-colheita de melão tipo cantaloupe, colhido em dois estádios de maturação. *Horticultura Brasileira* 19: 356-360. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362001000300014>
- González-Salas U, Gallegos-Robles MÁ, Preciado-Rangel P, García-Carrillo M, Rodríguez-Hernández MG, García-Hernández JL Guzmán-Silos TL (2021) Efecto de fuentes de nutrición orgánicas e inorgánicas mezcladas con biofertilizantes en la producción y calidad de frutos de melón. *Terra Latinoamericana* 39: 1-10. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.904>
- Hernández-Rosas F, García-Pacheco LA, Figueroa-Rodríguez KA, Figueroa-Sandoval B, Salinas Ruiz J, Sangerman-Jarquín DM, Díaz-Sánchez EL (2019) Análisis de las investigaciones sobre *Metarhizium anisopliae* en los últimos 40 años. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(SPE22): 155-166.
- INEGI (1983) Carta edafológica E. 13-3. Escala 1:250,000. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática. Colima, México.
- Jackson ML (1964) Análisis químico de suelos. Ediciones Omega. Barcelona, España. 662p.

- Licea-Herrera JI, Quiroz-Velásquez J Di C, Hernández-Mendoza JL (2020) Impacto de *Azospirillum brasilense*, una Rizobacteria que estimula la producción del Ácido Indol-3-Acético como el mecanismo de mejora del crecimiento de las plantas en los cultivos agrícolas. *Revista Boliviana de Química* 37(1): 34-39.
- Lindsay WL, Norvell WA (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society America Journal* 42: 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Luna-Fletes JA, Ruiz-Andalón CA, Mancilla-Villa OR, Cruz-Crespo E, Can-Chulím Á, Martínez-Rodríguez, OG (2023) Inoculación de *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* y bacterias BPCV combinada con fertilizantes orgánicos en el cultivo de melón. *Idesia* 41(4): 73-82. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292023000400073>
- MAGA (2024) Ficha técnica agroclimática melon. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. <https://guatemalanosedetiene.gt/wp-content/uploads/2024/06/FICHA-TECNICA-AGROCLIMATICA-MELON.pdf>. Fecha de consulta: 8 de noviembre de 2024.
- Monge-Pérez JE, Loria-Coto M (2017) Producción de melón en invernadero: comparación agronómica entre tipos de melón. *Posgrado y Sociedad* 15(2): 79-100.
- Navarro-García G, Navarro-García, S (2013). Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. 3ra Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 492p.
- Neibauer J, Maynard E (2002) Información poscosecha: normas de calidad del USDA. Universidad de California en Davis. California, Estados Unidos. http://www.hort.purdue.edu/prod_quality/commodities/muskmelon.html. Fecha de consulta: 30 mayo de 2024.
- Padilla E, Esqueda M, Sánchez A, Troncoso-Rojas R, Sánchez A (2006) Efecto de biofertilizantes en cultivo de melón con plástico acolchado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(4): e2758. <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2758>
- Pascutti MCD, Silvestre R da SF, Ortiz TA (2024) The role of microorganisms in sustainable agriculture: a review. *REVISTA DELOS* 17(52): e1253. <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n52-001>
- Pérez-López E (2013) Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. *InterSedes* 14(29): 06-18.
- Romano N (2012) Azufre. En: Quiroga AR, Bono AA (eds). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Edición 2012. Ediciones INTA. La Pampa, Argentina. pp. 115-118.
- Roset P, Altieri M (2019) Agroecología: Ciencia y política. Universidad Autónoma de Zacatecas, Editorial Miguel Ángel Porrúa. Ciudad de México, México. 189p.
- Ruíz-González OR (2023) Estrategias agroalimentarias sostenibles como respuesta al deterioro ambiental en el territorio de la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Ra Ximhai* 19(3 Especial): 53-81. <https://doi.org/10.35197/rx.19.03.2023.03.rr>
- Sadeghian S (2018) Interpretación de los resultados de análisis de suelo Soporte para una adecuada nutrición de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé* 497: 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0497>
- Sánchez J C (1994) Adsorción de iones nitrato en suelos de la provincia de Almería. *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses. Ciencias* 13: 119-143.
- Saparrat M, Bernardo V, Ruscitti M, Eliades L, Balatti P (2020) Hongos rizosféricos y el movimiento del fósforo en el suelo. En: Nazareno-Saparrat MC, Ruscitti MF, Arango MC (eds) Micorrizas arbusculares biología y aplicaciones en el sector agro-forestal. Editorial de la Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina. pp. 52-63.
- SEMARNAT (2002) Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicada diciembre 31, 2002. Diario Oficial de la Federación. SEGOB. México, <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>. Fecha de consulta: 15 de enero de 2024.

- SIAP (2024) Anuario estadístico de la producción agrícola. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 26 de julio de 2024.
- SMN-CONAGUA (2024) Datos meteorológicos. Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua. <http://smn.cna.gob.mx/es/>. Fecha de consulta: 20 de junio de 2024.
- Soil Survey Staff (2014) Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 2.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2023-01/SSIR51.pdf>. Fecha de consulta: 25 de junio de 2024.
- Stringlis IA, Proietti S, Hickman R, Van-Verk MC, Zamioudis C, Pieterse CM (2018) Root transcriptional dynamics induced by beneficial rhizobacteria and microbial immune elicitors reveal signatures of adaptation to mutualists. *The Plant Journal* 93(1): 166-180. <https://doi.org/10.1111/tpj.13741>
- TIBCO Inc (2017) STATISTICA data analysis software system, Version 13.3 for Windows, TIBCO Inc, Tulsa, OK, USA. <https://www.tibco.com/products/data-science>. Fecha de consulta: 7 de abril de 2024.
- US Agriseeds (2024) Resumen de cultivos – Harper, Zacapa. <https://www.usagriseeds.com/segments-overview/zacapa-2/>. Fecha de consulta: 5 de enero de 2024.
- USDA (2024) Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. <https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/soil-texture-calculator>. Fecha de consulta: 18 de junio de 2024.
- Valdés-Ríos EL (2014) Caracteres principales, ventajas y beneficios agrícolas que aporta el uso de *Trichoderma* como control biológico. *Agroecosistemas* 2(1): 254-264.
- Vargas PF, Castoldi R, de Oliveira-Charlo HC, Trevizan-Braz L (2008) Qualidade de melão rendilhado (*Cucumis melo* L.) em função do sistema de cultivo. *Ciência e Agrotecnologia* 32(1): 137-142. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000100020>
- Velasco-Jiménez A, Castellanos-Hernández O, Acevedo-Hernández G, Aarland RC, Rodríguez-Sahagún A (2020) Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana* 38: 333-345. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>
- Vendruscolo EP, Oliveira PR, Campos LFC, Seleguini A, Lima, SF de. (2019) Método de siembra, fertilización nitrogenada e inoculación de bacterias diazotróficas para plantas de melón Cantaloupe. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 13(1): 18-25. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i1.9720>
- Yujra-Ticona E, Miranda-Casas R (2019) Evaluación de la metodología Bray-Kurtz y Olsen para la determinación de fósforo disponible en suelos. *Apthapi* 5(1): 1407-1414.