

<https://doi.org/10.23913/ciba.v12i23.116>

Artículos científicos

Efecto de microorganismos promotores de crecimiento vegetal y yeso agrícola en el cultivo de higo

Effect of Plant Growth-Promoting Microorganisms and Agricultural Gypsum on Fig Cultivation

Efeito de microrganismos promotores de crescimento vegetal e gesso agrícola no cultivo de figos

Azucena Gándara Ledezma

Instituto Tecnológico de Sonora, Unidad Obregón, México

gandaraazucena@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-2505-7965>

Marco Antonio Gutiérrez Coronado

Instituto Tecnológico de Sonora, Unidad Obregón, México

marco.gutierrez@itson.edu.mx

<http://orcid.org/0000-0001-5956-9945>

Resumen

La demanda de higo (*Ficus carica* L.) está creciendo mundialmente por lo que se busca mayor rendimiento del cultivo. Una de las estrategias más promisorias es la inoculación de las plantas con microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV). También se emplean enmiendas para mejora de las condiciones del suelo, una de las más utilizadas es el yeso agrícola. El objetivo del presente estudio fue evaluar la aplicación con un consorcio bacteriano (*Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens*; 10^8 UFC m^{-2} para cada cepa) y *Trichoderma harzianum* combinado con yeso agrícola (fuente de Ca) como promotores de crecimiento en plantas de higo. La inoculación se realizó en tres tratamientos: testigo (T1), consorcio bacteriano y *T. harzianum* con yeso agrícola (T2) y *T. harzianum* con yeso agrícola (T3), bajo un diseño experimental en bloques completos al azar. La inoculación con T2 y T3 ayudó a mejorar las variables de fotosíntesis, número de fruto, peso de fruto



(30.5 %) y rendimiento (T2 38.35 % y T3 41.98 %). Además, la inoculación con T3 ayudó a la resistencia a la penetración (T3 7.2 lbF- T1 4.6 lbF) y el aumento en grados Brix (T3 22.5-T1 21.9) en los frutos.

Palabras clave: biofertilizante, bioinoculante, *Ficus carica*, promotor de crecimiento, rendimiento.

Abstract

The demand for fig (*Ficus carica* L.) is growing worldwide, leading to the search for higher crop yield. One of the most promising strategies is the application of plant growth promoter microorganisms (PGPM), which are used as inoculants in plants. Amendments are also used to improve soil conditions, one of the most widely used in agricultural gypsum. The objective of this study was to evaluate the combined application of PGPM (*Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens*, and *Trichoderma harzianum*) with agricultural gypsum (AG) in the soil, through microbiological, nutritional, and physiological analysis in fig plants. The inoculation of PGPM (108 CFU m⁻²) with AG (calcium 40 kg ha⁻¹) was performed in three treatments: T1: Control, T2: Bacterial consortium, and *T. harzianum* with AG and T3: *T. harzianum* with AG under a randomized complete blocks experimental design. The inoculation with T2 and T3 helped improve the photosynthesis variables, fruit number, fruit weight (30.5 %), and yield (T2 38.35 % and T3 41.98 %). Furthermore, the inoculation with T3 helped the resistance to penetration (T3 7.2 lbF-T1 4.6 lbF) and the increase in Brix degrees (T3 22.5-T1 21.9) in the fruits.

Keywords: biofertilizer, bioinoculant, *Ficus carica*, growth promoter, yield.

Resumo

A demanda por figos (*Ficus carica* L.) está crescendo em todo o mundo, razão pela qual se busca maior produtividade. Uma das estratégias mais promissoras é a inoculação de plantas com microrganismos promotores de crescimento vegetal (MPCV). As emendas também são utilizadas para melhorar as condições do solo, uma das mais utilizadas é o gesso agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar a aplicação com um consórcio bacteriano (*Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens*; 108 UFC m⁻² para cada cepa) e *Trichoderma harzianum* combinado com gesso agrícola (fonte de Ca) como promotores de crescimento em plantas da fig. A inoculação foi realizada em três tratamentos: controle (T1), consórcio



bacteriano e *T. harzianum* com gesso agrícola (T2) e *T. harzianum* com gesso agrícola (T3), em delineamento experimental em blocos ao acaso. A inoculação com T2 e T3 ajudou a melhorar as variáveis de fotossíntese, número de frutos, peso de frutos (30,5%) e rendimento (T2 38,35% e T3 41,98%). Além disso, a inoculação com T3 auxiliou na resistência à penetração (T3 7,2 lbF- T1 4,6 lbF) e no aumento dos graus Brix (T3 22,5-T1 21,9) nos frutos.

Palavras-chave: biofertilizante, bioinoculante, *Ficus carica*, promotor de crescimento, produtividade.

Fecha recepción: Julio 2022

Fecha aceptación: Enero 2023

Introducción

La higuera (*Ficus carica* L.) es originaria de Asia central, de donde se diseminó a todo el mediterráneo y posteriormente al continente americano (Pereira *et al.*, 2015). Árbol de hoja caduca perteneciente a las Moraceae (moras), su color varía de púrpura oscuro a verde. El fruto se consume crudo y procesado en diferentes presentaciones (Takahashi, Okiura, Saito y Kohno, 2014). Es fuente de vitaminas, minerales, antioxidantes y aminoácidos (Garza, Olivares, Gutiérrez, Vázquez y López, 2019).

La importancia económica del higo se ha incrementado mundialmente, a la par del interés en la mejora de métodos de producción, procesamiento, control de plagas y enfermedades, empaque y conservación (Mendoza, Vargas, Calderón, Mendoza y Santacruz, 2017). En la actualidad, México se posiciona en el lugar 19 de 51 países productores de higo (Fernández, García, Fernández y Muratalla, 2020; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018). El estado de Sonora registra 105 ha cultivadas, 100 de ellas destinadas a exportación y solo cinco para consumo nacional (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2021).

La producción intensiva suele utilizar grandes cantidades de químicos que podrían degradar el suelo y alterar sus comunidades microbianas (Villarreal *et al.* 2018). Entre las alternativas al uso de agrotóxicos destaca la aplicación de microorganismos conocidos como *promotores del crecimiento vegetal* (MPCV), que aumentan el crecimiento de las plantas (Leal *et al.*, 2018) a través de incrementar la disponibilidad de nutrientes, protección contra fitopatógenos y otros tipos de estimulación del crecimiento (Morales *et al.*, 2021; Sherathia *et al.*, 2016). Estos microorganismos se encuentran en el suelo y constituyen excelentes

alternativas biotecnológicas para la mejora del rendimiento de algunos cultivos (Gómez *et al.*, 2012). Se ha encontrado que la aplicación de MPCV en consorcio puede ser más favorecedora que en cepas únicas, ya que al actuar sinérgicamente se potencia el beneficio para la planta (Shah *et al.*, 2021).

Por otra parte, el yeso agrícola se utiliza como enmienda del suelo (Fisk, 6 de febrero de 2019; Trasviña *et al.*, 2018). Ayuda a regular el potencial de hidrógeno (pH) por la aportación de calcio y azufre en forma de sulfatos. Aplicado directamente en el suelo permite valores de pH cercanos a 6.0, los cuales son favorables para el desarrollo de los MPCV (Shah *et al.*, 2021).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación combinada de MPCV (*Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Trichoderma harzianum*) con yeso agrícola, así como *Trichoderma harzianum* con yeso agrícola en el cultivo de higo a través de análisis microbiológicos, nutrimentales y fisiológicos.

Materiales y métodos

La investigación se realizó durante el ciclo 2021-2022, en un lote experimental de un huerto de higo, ubicado en el ejido Esperanza, Cajeme, Sonora, México, dentro de la parcela número 98 ZP-1 P 1/1 (27.610063 N-109.910701 O). La plantación fue en un marco de 3 × 3 m con la variedad Black Mission, en suelo de textura franco-areno-arcillosa, con 1.26 % de materia orgánica, pH de 7.6 y conductividad eléctrica de 0.99 dS m⁻¹, determinada siguiendo la metodología de la norma oficial mexicana NOM-021-Recnat-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 31 de diciembre de 2002). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

Tratamientos

Se aplicaron tres tratamientos: 1) testigo (T1), 2) consorcio bacteriano (*Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus* y *Pseudomonas fluorescens*) y *Trichoderma harzianum* con yeso agrícola (T2) y 3) *T. harzianum* con yeso agrícola (T3). Los tratamientos T2 y T3 contenían 40 kg ha⁻¹ de calcio aportado por el yeso agrícola. Los MPCV se inocularon en suspensión en agua destilada con la concentración de 10⁸ UFC ml⁻¹ por metro cuadrado para cada especie. La aplicación fue directa en cada árbol y se realizaron 16 aplicaciones quincenales del 8 de marzo de 2021 al 4 de octubre de 2021.

Variables medidas

Cuantificación de UFC g⁻¹ de suelo

Se realizó un conteo de microorganismos viables en suelo para monitoreo de densidad de población para cada microorganismo previo a las aplicaciones y 15 días después del inicio de aplicación. Las muestras fueron tomadas siguiendo la metodología de la NOM-021-Recnat-2000 (Semarnat, 31 de diciembre de 2002).

Se utilizó la técnica de diluciones seriadas (10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6}) y vertido en placa, por triplicado en medio agar manitol-yema de huevo-polimixina (agar MYP), para la identificación morfológica de *B. subtilis* y *B. cereus*; para *P. fluorescens* se usó agar aislamiento de *P. fluorescens* y para *T. harzianum* agar-patata-glucosa. Las bacterias se incubaron a 30 °C y el hongo a 25 °C. El conteo microbiológico se realizó a las 24, 48 y 120 h; los resultados se registraron como UFC g⁻¹ de suelo (Pepper & Gerba, 2004).

Análisis nutrimental foliar

Se determinó la concentración de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Zn) en muestra compuesta de tejido vegetal para cada tratamiento, dos meses posteriores al inicio de aplicaciones y al término de aplicaciones (siete meses después). El análisis se realizó con un espectrofotómetro (DR3900 Hach), siguiendo la metodología establecida por Alcántar y Sandoval (1999). Se realizaron modificaciones ajustadas a la naturaleza de las muestras.

Clorofila

Se estimó el contenido de clorofila siguiendo el método Soil Plant Analysis Development (SPAD) (con un medidor modelo SPAD 502), tomando el promedio de tres hojas fisiológicamente maduras (tres lecturas de cada hoja) por árbol. Las mediciones quincenales se hicieron a partir del inicio de la aplicación.

Fotosíntesis

La medición de la actividad fotosintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) se realizó con el equipo IRGA LI-6400-XT, entre las 11:00 h y 14:00 h (con saturación de luz), siguiendo las instrucciones del fabricante, en dos etapas fenológicas del cultivo: desarrollo vegetativo en julio de 2021 y cosecha en diciembre de 2021.

Altura planta

Medición de la longitud (cm) desde la base del tallo hasta el ápice de la planta. Las mediciones se realizaron semanalmente a partir de la primera aplicación de los tratamientos.

Rendimiento, número y peso de la fruta

Se determinó contando el número y peso de higos en kilogramos totales por cada árbol (unidad experimental). El resultado se extrapoló a términos de toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$).

Pérdida de peso en la fruta

Se tomó el peso del fruto (g) cada cinco días durante un periodo de 20 días, y se realizó el cálculo respecto al peso inicial después de la cosecha.

Resistencia a la penetración

La firmeza de los frutos se midió utilizando un penetrómetro (FT 10 Wagner Instruments). Se registró la fuerza requerida (lbF) para penetrar la epidermis ecuatorial del fruto (Baldoni *et al.*, 2016).

Grados Brix ($^{\circ}Bx$)

El contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}Bx$) se midió por refractometría, utilizando un refractómetro digital (HANNA 96801) y siguiendo la metodología empleada por Soberanes, Calderón, López y Alvarado (2020).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias por medio de la prueba Tukey ($P \leq 0.05$), con el programa estadístico IBM-SPSS Statistics 22, para las variables de altura, clorofila y fotosíntesis.

Resultados

Análisis microbiológico del suelo

Se realizó conteo de microorganismos (UFC g⁻¹ de suelo) por identificación morfológica previo a las aplicaciones y 15 días después del inicio de aplicaciones donde se encontró mayor concentración de los microorganismos inoculados (tabla 1).

Tabla 1. Microorganismos viables en suelo de huerta de higo (UFC g⁻¹ de suelo). Previo y 15 días después del inicio de las aplicaciones

Conteo de microorganismos viables (UFC g ⁻¹ de suelo)					
		<i>B. subtilis</i>	<i>B. cereus</i>	<i>P. fluorescens</i>	<i>T. harzianum</i>
Previo a aplicación de tratamientos		3.6×10^2	ND	2.3×10^2	ND
15 días después de la aplicación de tratamientos	T1	3.4×10^3	ND	2.8×10^2	ND
	T2	5.3×10^7	5.2×10^5	1.47×10^8	2.1×10^6
	T3	2.6×10^3	ND	2.8×10^2	2.3×10^6
ND: no detectado					

Fuente: Elaboración propia

Clorofila

Los árboles tratados con T2 y T3 presentan valores más elevados de clorofila 3.5 UC (9.9 %) y 3.11 UC (8.8 %), respectivamente, en comparación con T1, aunque no se mostraron diferencias significativas en el incremento de unidades de clorofila (UC).

Altura

Las plantas tratadas con T3 mostraron valores más elevados en incremento de altura (6.5 %) en comparación con las plantas tratadas con T1, sin presentar diferencia significativa.

Fotosíntesis

Se evaluó la actividad fotosintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) utilizando el equipo IRGA LI-6400-XT, realizando mediciones entre las 11:00 h y 14:00 h (con saturación de luz), siguiendo las instrucciones del fabricante, en dos etapas fenológicas del cultivo: desarrollo vegetativo en julio de 2021 y cosecha en diciembre de 2021. Las plantas tratadas con T3

presentaron diferencia significativa con T1 en el mes de julio; para las mediciones realizadas en diciembre tanto T2 como T3 presentaron diferencia significativa con T1 (tabla 2).

Tabla 2. Efecto de la inoculación de microorganismos promotores de crecimiento y yeso agrícola en la actividad fotosintética de árboles de higo

Tratamiento	Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	
	Julio de 2021	Diciembre de 2021
T1	11.08 b	11.13 b
T2	12.57 ab	13.75 a
T3	12.74 a	13.59 a

Valores con diferente letra en una columna son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia

Análisis nutrimental foliar

En la tabla 3 se presenta el contenido mineral determinado en las hojas de higo después de dos periodos de aplicación. Los resultados revelan que la mayoría de los valores se encontraron dentro o por encima de los valores de suficiencia establecidos por Moreno, Pulgar, Vállora y Romero (1998) y Brown (1994). De acuerdo con el criterio de Moreno *et al.* (1998), se observaron deficiencias en el contenido de N, Cu y Zn. Específicamente, hubo deficiencia de N a los dos y siete meses de aplicación en T1 y T2; también hubo valores insuficientes de cobre a los dos meses de aplicación en T1 y T2; y se encontró deficiencia de Zn a los siete meses en T1, y a los dos y siete meses en T3; sin embargo, considerando los valores de referencia de Brown (1994), se presentaron deficiencias de Ca y de Mg. Particularmente, se encontró deficiencia de Ca a los dos meses en los tres tratamientos; y también se observó una concentración insuficiente de Mg a los dos meses en los tres tratamientos, y a los siete meses en T1 y T3.

Tabla 3. Análisis nutrimental foliar en árboles de higo

Tiempo después de aplicación del tratamiento (meses)	Tratamiento	Macronutrientos				Micronutrientos			
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn
		(%)				(ppm)			
2	T1	1.8	0.2	2.3	1.66	0.39	300	7	30
	T2	2.2	0.31	3.7	1.68	0.3	600	14	40
	T3	1.92	0.29	2.3	1.6	0.5	450	34	10
7	T1	1.6	0.71	2.62	2.89	0.4	208	27	29
	T2	1.62	0.71	3.4	2.94	0.74	223	34	31
	T3	2.94	0.64	3.15	3.5	0.61	218	30	20
	*	2.64- 2.66	0.14- 0.15	1.1- 1.7	0.34- 0.35	0.04- 0.05	183- 189	15-21	30-35
	**	1.5- 2.3	0.08- 0.14	0.25- 1.4	2.8- 3.5	0.7- 0.9	78- 165	4-8	9-14
* Moreno <i>et al.</i> (1998)									
** Brown (1994)									

Fuente: Elaboración propia

Evaluaciones poscosecha

Rendimiento, número y peso de frutos

Las plantas tratadas con T2 (38.35 %) y T3 (41.98 %) obtuvieron mayor rendimiento respecto a las tratadas con T1 (tabla 4). También los árboles tratados con T2 (60 %) y T3 (100 %) presentaron mayor cantidad de frutos en comparación con T1 (tabla 4). En cuanto a la variable de peso, en los tratamientos T2 (273 g) y T3 (299.8 g) se observó diferencia significativa en comparación con el testigo (tabla 4).

Tabla 4. Número, peso y rendimiento en frutos de higo

Tratamientos	Número de frutos totales por tratamiento	Peso de fruto (g) total por tratamiento	Rendimiento (t ha ⁻¹)
T1	212	415.5 b	12.8 b
T2	340	689.3 a	21.26 a
T3	424	715.3 a	22.06 a

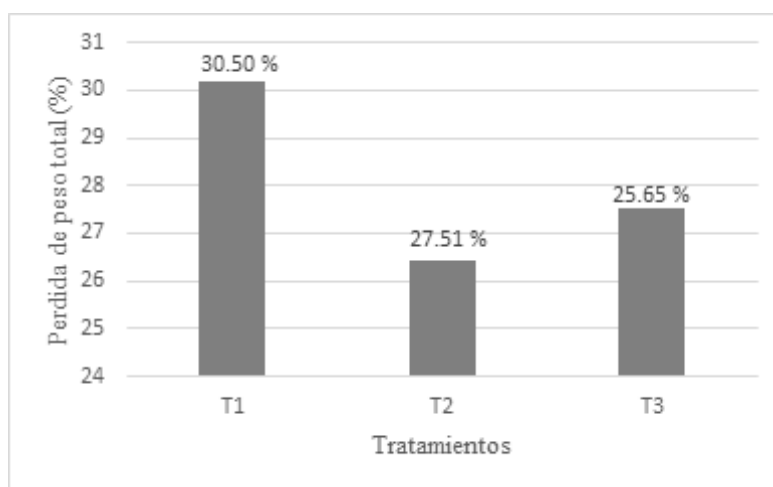
T1: Testigo, T2: Consorcio bacteriano (*Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus* y *Pseudomonas fluorescens*), *Trichoderma harzianum* y yeso agrícola, T3: *Trichoderma harzianum* y yeso agrícola. Valores con diferente letra en una columna son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia

Pérdida de peso del fruto

En cuanto al porcentaje de pérdida de peso acumulada por 20 días en fruto de higo, las plantas tratadas con T1 perdieron mayor porcentaje de humedad (30.50 %) en comparación con T2 (27.51 %) y T3 (25.65 %) (figura 1).

Figura 1. Pérdida de peso en fruto de los árboles tratados con consorcio bacteriano y *T. harzianum* con yeso agrícola (T2) y *T. harzianum* con yeso agrícola (T3) y testigo (T1)

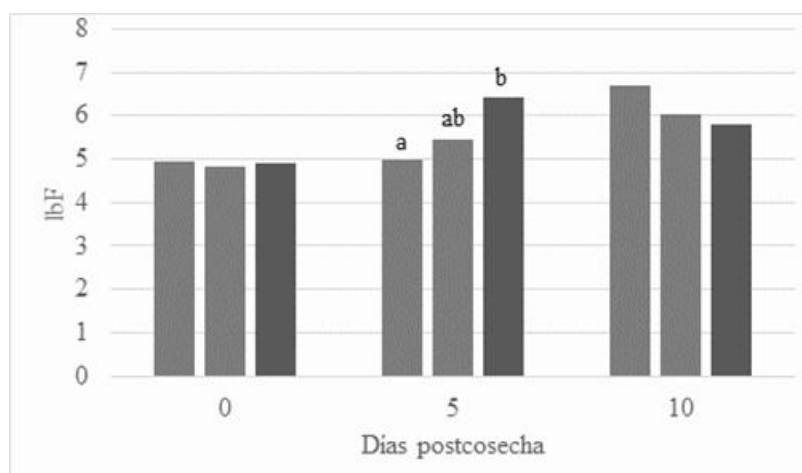


Fuente: Elaboración propia

Resistencia a la penetración

Los frutos tratados con T3 (7.2 lbF) mantuvieron mayor firmeza, presentando diferencia significativa al quinto día poscosecha con valores mayores a T1 (4.6 lbF) (figura 2).

Figura 2. Resistencia a la penetración (lbF) de frutos de higo a los 0, 5 y 10 días poscosecha; *a, b* letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$)

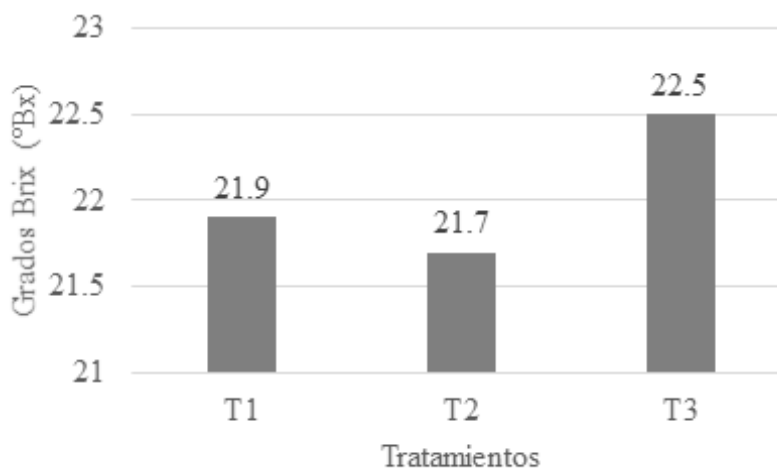


Fuente: Elaboración propia

Grados Brix (°Bx)

Los frutos de T3 (22.5 °Bx) presentaron mayor valor de dulzor en comparación con T1 (21.9 °Bx) y T2 (21.7 °Bx) (figura 3).

Figura 3. Grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) en frutos tratados con consorcio bacteriano y *T. harzianum* con yeso agrícola (T2) y *T. harzianum* con yeso agrícola (T3) y testigo (T1)



Fuente: Elaboración propia

Discusión

Los resultados obtenidos indican que los microorganismos inoculados fueron capaces de establecerse en la rizósfera. Para que la inoculación con MPCV sea exitosa deben establecerse e interactuar con la planta hospedera, así como mantener actividad biológica (Restrepo *et al.*, 2015, Villarreal *et al.*, 2018). Díaz, Ferrera, Almaraz y Alcantar (2001) encontraron que después de varias inoculaciones los MPCV son capaces de establecerse y multiplicarse. Las cepas inoculadas en el presente estudio han sido citadas como MPCV prometedoras en estudios en formulación líquida (Cantú *et al.*, 2021; Leal *et al.*, 2018).

Por otra parte, la aplicación de yeso agrícola ayuda a que se dé el establecimiento de los MPCV (Leal *et al.*, 2018), al favorecer una acidulación temporal en el suelo, ya que el pH óptimo de estos microorganismos es ligeramente ácido (Shah *et al.*, 2021).

El incremento en la clorofila en las plantas tratadas con T2 y T3 concuerda con lo observado por Pandey *et al.* (2016) en plantas de arroz tratadas con *T. harzianum*, las cuales mostraron un mayor contenido de clorofila en comparación con las plantas control, debido al incremento de nitrógeno disponible para las plantas a causa de la acción del hongo. Asimismo, Thakur y Niranjan (2018) obtuvieron incremento en clorofila en plantas de fresa y lo atribuyen al ambiente nutricional equilibrado en el suelo a causa de la inoculación con MPCV.

En cuanto a la altura, las plantas tratadas con T3 presentaron mayores valores. Entre las principales propiedades de *Trichoderma* destacan su capacidad para proteger las plantas y contener poblaciones de patógenos bajo diferentes condiciones del suelo (Bhale, 2020; Vinale et al., 2008), el incremento en solubilización/absorción de minerales (Li et al., 2015) y la producción de sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal (Bécquer et al., 2015). Przybyłko, Kowalczyk y Wrona (2021) señalaron que los hongos ayudan a las plantas a absorber N y Mg.

Los valores de N encontrados coinciden con los encontrados por Brown (1994) para huertos con árboles de higo de bajo vigor, tal como el presente estudio, ya que en este fue el primer año productivo del huerto. El incremento presentado en N pudo deberse a que los MPVC inoculados lo vuelven más disponible y fácil de absorber por las plantas (Rojas et al., 2022; Rubio et al., 2017). En cuanto a la concentración de P, K, Ca, Mg y Fe, está por encima de los valores óptimos en higo según Moreno et al. (1998). Los valores elevados de fósforo pueden deberse a la acción de bacterias del género *Pseudomonas*, las cuales han sido ampliamente estudiadas como solubilizadoras de fosfatos (FAO, 2018).

Referente a la fotosíntesis, se pudo observar que la inoculación con T2 Y T3 ayudó a la tasa fotosintética, esto puede deberse al incremento de la disponibilidad de nutrientes a causa de la inoculación con MPCV, tal y como Arikan y Pirlak (2016), quienes encontraron un aumento en la tasa fotosintética en manzano a causa de la inoculación con bacterias resistentes a salinidad.

La inoculación combinada de MPCV y yeso agrícola favoreció el aumento de producción de frutos. Esto concuerda con lo encontrado por Sánchez, Gómez, Garrido y Bonilla (2018) en producción de frutos de tomate, en plantas inoculadas con *Enterobacter* y *Pseudomonas putida*, los cuales superaron al testigo químico (29 %) y al testigo absoluto (17 %). Además, en estudios con cereza agria (*Prunus cerasus* L.) tratadas con *Bacillus* se incrementó el rendimiento en número y peso del fruto (Arikan y Pirlak, 2016). El peso de los frutos está relacionado con el contenido de Ca, elemento que confiere firmeza a la pared y membrana (Soberanes et al., 2020), en este sentido se ha documentado que bacterias como *P. fluorescens* y el hongo *T. harzianum* liberan P y Ca presentes en forma de fosfato de calcio, por lo que los tratamientos T2 y T3 pueden estar favoreciendo que los frutos presenten mayor peso al mantener la integridad por más tiempo (Otieno et al., 2015). Asimismo, trabajos realizados en cítricos con inoculación de MPCV presentaron aumento en el tamaño y peso de la fruta (Abobatta y El-Azazy, 2020).

Trabajos realizados en plantas de membrillo inoculadas con *Bacillus* mostraron incremento en el rendimiento por árbol, específicamente de 35.6 % en plantas tratadas con *Bacillus* OSU-142 y de 44 % en plantas tratadas con *Bacillus* T8, en comparación con el control (Arikan, İpek y Pirlak, 2013), así como la inoculación de *T. asperellum* en el suelo del cultivo de mora negra (*Rubus glaucus*, Benth) afectó positivamente la productividad (17 %) en comparación con el control (Viera *et al.*, 2019). El cambio en la firmeza es uno de los principales indicadores de calidad poscosecha en los frutos (Baldoni *et al.*, 2016). Nuestros resultados coinciden con los valores obtenidos por Sozzi, Abraján, Trincherro y Fraschina (2005) en pérdida de firmeza en fruto de higo variedad Brown Turkey, quienes documentaron pérdida de firmeza al tercer día de almacenamiento. En cuanto a la pérdida de peso, los frutos de los árboles tratados con MPCV y yeso agrícola mantuvieron su peso por más tiempo, esto es muy importante ya que el ablandamiento y la pérdida de peso son los factores responsables de la disminución de la vida poscosecha (Allegra *et al.*, 2017).

En cuanto al resultado obtenido en °Bx, los frutos de las plantas tratadas con T3 superaron a T2 y T1. Este resultado coincide con el trabajo realizado por Lombardi *et al.* (2020) en fresas, con la aplicación de metabolitos provenientes de *T. harzianum*, donde se incrementó el porcentaje de °Bx en comparación con el testigo. En la presente investigación se obtuvieron valores °Bx más elevados que los encontrados por Soberanes *et al.* (2020) en higo de la variedad Netzahualcōyotl (14.86-17.3 °Bx) pero coinciden con los intervalos mencionados por Villalobos *et al.* (2016) en tres cultivares de higo, quienes, además, argumentan que estos valores más elevados en °Bx se deben a altos niveles de radiación alcanzados en la zona de Guadajira, Badajoz, España. En el presente estudio podemos inferir que los valores elevados de °Bx se deben en parte a las altas radiaciones alcanzadas en el valle del Yaqui (Pinto, Lopes, Collins y Reynolds, 2016).

Conclusiones

Con la aplicación de los tratamientos T2 y T3 se obtuvo una mejora en las variables de fotosíntesis, número de fruto, peso de fruto y rendimiento.

Igualmente, la inoculación con T3 ayudó a la resistencia a la penetración y el aumento en grados Brix en los frutos de higo.

Futuras líneas de investigación

Para futuras investigaciones, se propone continuar con la aplicación de los tratamientos durante al menos dos ciclos productivos. Además, probar diferentes combinaciones de los MPCV con y sin yeso agrícola, con el fin de comprobar que este ayuda al establecimiento de los MPCV. Por último, se recomienda evaluar diferentes métodos de reproducción de los microorganismos que sean más eficientes y de menor costo.

Referencias

- Abobatta, W. F., & El-Azazy, A. M. (2020). Role of organic and biofertilizers in citrus orchards. *Aswan University Journal of Environmental Studies*, 1(1), 13–27.
<https://doi.org/10.21608/aujes.2020.124530>
- Alcantar, G. G., & Sandoval, M. (1999). Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial. *Sociedad Mexicana de La Ciencia Del Suelo, AC., Chapingo, México*, 10, 156–156.
- Allegra, A., Sortino, G., Inglese, P., Settanni, L., Todaro, A., & Gallotta, A. (2017). The effectiveness of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on post-harvest maintenance of ‘Dottato’ fig (*Ficus carica* L.) fruit. *Food Packaging and Shelf Life*, 12(December 2016), 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.010>
- Arikan, Ş., & Pirlak, L. (2016). Einfluss von wachstumsfördernden Rhizobacteria (PGPR) auf Wachstum, Ertrag und Fruchtqualität bei Sauerkirschen (*Prunus cerasus* L.). *Erwerbs-Obstbau*, 58(4), 221–226. <https://doi.org/10.1007/s10341-016-0278-6>
- Arikan, Ş., & Pirlak, L. (2020). Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Physiological Parameters Against Salinity in Apple Cultivar “Fuji.” *Sakarya University Journal of Science*, 24(52471), 281–286.
<https://doi.org/10.16984/saufenbilder.469522>
- Arikan, Ş., İpek, M., & Pirlak, L. (2013). Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Yield and Fruit Quality of Quince. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 32(1), 12–16.
<https://doi.org/10.7763/IPCBE>
- Baldoni, D., Ventura-Aguilar, R. I., Hernandez-Lopéz, M., Corona-Rangel, M. L., Barrera-Necha, L. L., Correa-Pacheco, Z., & Bautista-Baños, S. (2016). Calidad Postcosecha De Higos ‘Black Mission’ Tratados Con Cubiertas Naturales. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17, 267–275.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81349041014>

Bécquer, C. J., Lazarovits, G., Nielsen, L., Quintana, M., Adesina, M., Quigley, L., Lalin, I., & Ibbotson, C. (2015). Efecto de la inoculación con bacterias rizosféricas y *Trichoderma* en trigo (*Triticum aestivum* L.). *Pastos y Forrajes*, 38(1), 29–37.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942015000100003&lng=es&tlng=pt.

Bhale, U. N. (2020). Antagonistic conflict of *Trichoderma harzianum* against fruit rots pathogens. *African Journal of Biological Sciences*, 02(04), 92.

<https://doi.org/10.33472/afjbs.2.4.2020.92-98>

Brown, P. H. (1994). Seasonal variations in fig (*Ficus carica* L.) leaf nutrient concentrations. *HortScience*, 29(8), 871–873.

<https://doi.org/10.21273/hortsci.29.8.871>

Cantú-Nava, P. C., Gutiérrez-Coronado, M. A., Castro-Espinoza, L., Soto-Parra, J. M., Cortez-Jiménez, J. M., Núñez-Moreno, H., Tecnológico, I., Calle, D. S., & Centro, C. (2021). Microorganismos promotores de crecimiento sobre el rendimiento y calidad de nogal pecanero cultivado en el valle del yaqui, sonora, México. *Agrociencia*, 347–355.

Díaz, P., Ferrera Cerrato, R. ., Alvarez Suarez, J. J. ., & Alcantar Gonzalez, G. (2001).

Inoculation of Plant Growth-promoting Bacteria in Lettuce. *Terra Latinoamericana*, 19(004), 327–335. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319405.pdf>

FAO. (2018). *FAOSTAT. Estadísticas de producción de higo*. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>

Fernández, Y. L., García-Cue, J. L., Fernández-Pavía, S. P., & Muratalla-Lúa, A. (2020).

Deficiencias nutrimentales inducidas en higuera cv. Neza en condiciones hidropónicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 581–592.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2073>

Garza-Alonso, C. A., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Díez, A., Vázquez-Alvarado, R. E., & López-Jiménez, A. (2019). Visual symptoms, vegetative growth, and mineral concentration in Fig Tree (*Ficus carica* L.) under macronutrient deficiencies.

Agronomy, 9(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy9120787>

Gómez-Luna, B. E., Hernández-Morales, A., Herrera-Méndez, C. H., Arroyo-Figueroa, G., Vargas-Rodríguez, L., & Olalde-Portugal, V. (2012). Aislamiento de bacterias promotoras del crecimiento de la rizósfera de plantas de guayaba (*Psidium guajava*).

Ra Ximhai, 8(3), 97–102. <https://doi.org/10.35197/rx.08.03.e1.2012.10.bg>



- Leal Almanza, J., Gutiérrez Coronado, M. A., Castro Espinoza, L., Lares Villa, F., Cortes Jiménez, J. M., & de los Santos-Villalobos, S. (2018). Microorganismos promotores de crecimiento vegetal con yeso agrícola en papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo casa sombra. *Agrociencia*, 52(8), 1495–3195.
- Li, R. X., Cai, F., Pang, G., Shen, Q. R., Li, R., & Chen, W. (2015). Solubilisation of phosphate and micronutrients by *Trichoderma Harzianum* and its relationship with the promotion of tomato plant growth. *PLoS ONE*, 10(6), 1–16.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130081>
- Lombardi, N., Salzano, A. M., Troise, A. D., Scaloni, A., Vitaglione, P., Vinale, F., Marra, R., Caira, S., Lorito, M., D'Errico, G., Lanzuise, S., & Woo, S. L. (2020). Effect of *Trichoderma* Bioactive Metabolite Treatments on the Production, Quality, and Protein Profile of Strawberry Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(27), 7246–7258. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01438>
- Mendoza-Castillo, V. M., Vargas-Canales, J. M., Calderon-Zavala, G., Mendoza-Castillo, M. del C., & Santacruz-Varela, A. (2017). Intensive Production Systems of Fig (*Ficus carica* L.) under greenhouse conditions. *Experimental Agriculture*, 53(3), 339–350.
<https://doi.org/10.1017/S0014479716000405>
- Morales-Cedeño, L. R., Orozco-Mosqueda, M. del C., Loeza-Lara, P. D., Parra-Cota, F. I., de los Santos-Villalobos, S., & Santoyo, G. (2021). Plant growth-promoting bacterial endophytes as biocontrol agents of pre- and post-harvest diseases: Fundamentals, methods of application and future perspectives. *Microbiological Research*, 242(July 2020). <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126612>
- Moreno, D. A., Pulgar, G., VÍllora, G., & Romero, L. (1998). Nutritional diagnosis of fig tree leaves. *Journal of Plant Nutrition*, 21(12), 2579–2588.
<https://doi.org/10.1080/01904169809365589>
- Otieno, N., Lally, R. D., Kiwanuka, S., Lloyd, A., Ryan, D., Germaine, K. J., & Dowling, D. N. (2015). Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers in Microbiology*, 6(745).
- Pandey, V., Ansari, M. W., Tula, S., Yadav, S., Sahoo, R. K., Shukla, N., Bains, G., Badal, S., Chandra, S., Gaur, A. K., Kumar, A., Shukla, A., Kumar, J., & Tuteja, N. (2016). Dose-dependent response of *Trichoderma harzianum* in improving drought tolerance in rice genotypes. *Planta*, 243(5), 1251–1264. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2482-x>

- Pepper, I. L., & Gerba, C. P. (2004). *Environmental Microbiology a Laboratory Manual* (2nd. ed.). Elsevier Academic Press.
- Pereira, C., Serradilla, M. J., Martín, A., Villalobos, M. del C., Pérez-Gragera, F., & López-Corrales, M. (2015). Agronomic behaviour and quality of six fig cultivars for fresh consumption. *Scientia Horticulturae*, 185, 121–128.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.026>
- Pinto, R. S., Lopes, M. S., Collins, N. C., & Reynolds, M. P. (2016). Modelling and genetic dissection of staygreen under heat stress. *Theoretical and Applied Genetics*, 129(11), 2055–2074. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2757-4>
- Przybyłko, S., Kowalczyk, W., & Wrona, D. (2021). Article the effect of mycorrhizal fungi and pgpr on tree nutritional status and growth in organic apple production. *Agronomy*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy11071402>
- Restrepo, G. M., Marulanda, S., De la Fe, Y., De la Osa, A., Vera, L., & Hernández, A. (2015). Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 46(1), 63–76.
- Rojas-Padilla, J., Estela, L., Parra-cota, F. I., Rocha-Estrada, J., & Santos-Villalobos, S. D. L. (2022). Microencapsulation of Bacillus Strains for Improving Wheat (*Triticum turgidum* Subsp. *durum*) Growth and Development. *Plants*, 11(2920), 1–16.
<https://doi.org/https://www.mdpi.com/2223-7747/11/21/2920>
- Rubio, M. B., Hermosa, R., Vicente, R., Gómez-Acosta, F. A., Morcuende, R., Monte, E., & Bettiol, W. (2017). The combination of *Trichoderma harzianum* and chemical fertilization leads to the deregulation of phytohormone networking, preventing the adaptive responses of tomato plants to salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 8(March), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00294>
- Sánchez López, D. B., Gómez Vargas, R. M., Garrido Rubiano, M. F., & Bonilla Buitrago, R. R. (2018). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1401–1415. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1346>
- SEMARNAT. (2002). *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000*.
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Shah, A., Nazari, M., Antar, M., Msimbira, L. A., Naamala, J., Lyu, D., Rabileh, M., Zajonc, J., & Smith, D. L. (2021). PGPR in Agriculture: A Sustainable Approach to

- Increasing Climate Change Resilience. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5(July), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.667546>
- Sherathia, D., Dey, R., Thomas, M., Dalsania, T., Savsani, K., & Pal, K. K. (2016). Biochemical and molecular characterization of DAPG-producing plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Legume Research - An International Journal*, 39(OF), 614–622. <https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.9389>
- SIAP. (2021). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción anual agrícola*. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Soberanes-Pérez, A., Calderón-Zavala, G., López-Jiménez, A., & Alvarado-Raya, H. E. (2020). Biorreguladores para la producción de Higo bajo condiciones de invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1), 61–69. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.61>
- Soberanes, P. A. (2018). *Aplicación de bioactivadores en la producción forzada de higo*.
- Sozzi, G. O., Abraján-Villaseñor, M. A., Trincherro, G. D., & Frascina, A. A. (2005). Postharvest response of “Brown Turkey” figs (*Ficus carica* L.) to the inhibition of ethylene perception. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14), 2503–2508. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2296>
- Takahashi, T., Okiura, A., Saito, K., & Kohno, M. (2014). Identification of Phenylpropanoids in Fig (*Ficus carica* L.) Leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(41), 10076–10083. <https://doi.org/10.1021/jf5025938>
- Thakur, S., & Niranjana, S. (2018). Studies on the effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth, physiological parameters, yield and fruit quality of strawberry cv. chandler. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2)(January), 383–387.
- Tinajero-Malta, A. C. (2019). *Evaluación del crecimiento in-vitro de Arabidopsis thaliana promovido por bacterias solubilizadoras de calcio y fósforo*.
- Trasviña, A., Bórquez, R., Almanza, J., Castro, L., & Gutiérrez, M. (2018). Rehabilitación de un suelo salino con yeso agrícola en un cultivo de nogal en el Valle del Yaqui. *Terra Latinoamericana*, 36, 85–90.
- Viera, W., Noboa, M., Martínez, A., Báez, F., Jácome, R., Medina, L., & Jackson, T. (2019). *Trichoderma asperellum* increases crop yield and fruit weight of blackberry (*Rubus glaucus*) under subtropical Andean conditions. *Vegetos*, 32, 209–215.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42535-019-00024-5>

- Villalobos, M. del C., Serradilla, M. J., Martín, A., López Corrales, M., Pereira, C., & Córdoba, M. de G. (2016). Preservation of different fig cultivars (*Ficus carica* L.) under modified atmosphere packaging during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 2103–2115. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7326>
- Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I., & De los Santos-Villalobos, S. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 36(1), 95–130. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1706-5>
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E., Marra, R., Woo, S. L., & Lorito, M. (2008). Trichoderma plant pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002>.
- Warren, D. (2019, February 6). Gypsum as an agricultural product. *Soil Science Society of America*. <https://www.soils.org/news/science-news/gypsum-agricultural-product/>

Rol de Contribución	Autor (es)
Conceptualización	Marco Antonio Gutiérrez Coronado
Metodología	Marco Antonio Gutiérrez Coronado
Software	NA
Validación	Marco Antonio Gutiérrez Coronado
Análisis Formal	Azucena Gándara Ledezma
Investigación	Azucena Gándara Ledezma
Recursos	Marco Antonio Gutiérrez Coronado
Curación de datos	Azucena Gándara Ledezma
Escritura - Preparación del borrador original	Azucena Gándara Ledezma
Escritura - Revisión y edición	Marco Antonio Gutiérrez Coronado (apoya) Azucena Gándara Ledezma (principal)
Visualización	Marco Antonio Gutiérrez Coronado (igual) Azucena Gándara Ledezma (igual)
Supervisión	Marco Antonio Gutiérrez Coronado
Administración de Proyectos	Marco Antonio Gutiérrez Coronado
Adquisición de fondos	Marco Antonio Gutiérrez Coronado