

Efecto de bioestimulantes microbianos en frutos de chile morrón y jitomate producidos en macrotúnel

Effect of microbial biostimulants on bell pepper and tomato fruits produced in macrotunnels

Jacel Adame-García¹, Félix David Murillo-Cuevas^{1*}, Héctor Cabrera-Mireles², Jazmín Villegas-Narváez¹, Adriana Elena Rivera-Meza¹, Andrés Vásquez-Hernández²

¹ Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Carretera Cd Cardel-Chachalacas km 4.5, Úrsulo Galván, Veracruz, México. CP. 91667.

² Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Federal Veracruz-Córdoba km 35.4, Medellín de Bravo, Veracruz, México. CP. 94992.

RESUMEN

La producción intensiva de vegetales ha provocado dependencia excesiva de la fertilización química, lo cual ha generado problemas ambientales y de inocuidad de los alimentos. Una opción para reducir la cantidad de fertilizantes sintéticos es el manejo de nutrientes mediante inoculaciones microbianas. El objetivo fue evaluar el efecto de dos bioestimulantes a base de *Trichoderma* spp. y uno de *Bacillus* spp. en el diámetro, longitud y peso de frutos de chile morrón y jitomate en condiciones de macrotúnel. Los tratamientos fueron: Genifix[®], T22[®], Mix[®] y testigo. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se utilizaron tres cortes de frutos por cultivo. Las variables de respuesta fueron: peso, diámetro y longitud de fruto, además del peso de 20 frutos elegidos al azar. Los frutos obtenidos con el tratamiento Genifix fueron de mayor tamaño y peso, con diferencias significativas al resto de los tratamientos. El T22 y Mix mostraron un efecto significativo con frutos más grandes y pesados en comparación a frutos testigo en la mayoría de los cortes. Los bioestimulantes evaluados mejoraron el tamaño y peso de frutos de chile morrón y jitomate en plantas con un manejo mínimo tradicional de fertilización en condiciones de macrotúnel.

Palabras clave: Genifix, *Bacillus*, *Trichoderma*, hortalizas, agricultura protegida.

ABSTRACT

The intensive production of vegetables has caused excessive dependence on chemical fertilization, which has generated environmental and food safety problems. An option to reduce the amount of synthetic fertilizers is the management of nutrients through microbial inoculations. The objective of this study was to evaluate the effect of two biostimulants based on *Trichoderma* spp. and one from *Bacillus* spp., on the diameter, length and weight of bell pepper and tomato fruits under macrotunnel conditions. The treatments were: Genifix[®], T22[®], Mix[®] and control (blank). A completely randomized block design with four repetitions was used. Three harvests were made per crop. The response variables

were: weight, diameter and fruit length, in addition to the weight of 20 fruits chosen at random. The fruits obtained with the Genifix treatment were larger and heavier, with significant differences from the rest of the treatments. The T22 and Mix also showed a significant effect on the development of larger and heavier fruits in relation to the control in most harvests. The evaluated biostimulants improved the size and weight of bell pepper and tomato fruits in plants with minimal traditional fertilization management under macrotunnel conditions.

Keywords: Genifix, *Bacillus*, *Trichoderma*, vegetables, protected agriculture.

INTRODUCCIÓN

Los vegetales son buenos proveedores de vitaminas, minerales, antioxidantes (polifenoles y carotenoides) y fibra dietética, lo cual mejora la calidad nutricional en la dieta de las personas que los consumen (Hervert-Hernández *et al.*, 2011). Además, son fuente de fitonutrientes y fitonutracéuticos, que son sustancias que tienen propiedades protectoras o preventivas de enfermedades, y se asocian con la prevención de ciertos padecimientos crónicos, incluidas las enfermedades cardiovasculares, el cáncer, la diabetes y la osteoporosis (Chen *et al.*, 2007; Ramya y Patel, 2019).

La producción intensiva de los productos vegetales ha provocado una dependencia excesiva de la fertilización química, ya que es una forma rápida de proporcionar a las plantas los macro y micronutrientes necesarios; sin embargo, en su mayoría es ineficiente, ya que gran parte del fertilizante aplicado se escapa al medio ambiente, se lava del suelo por la escorrentía y muchas veces pueden dejar de estar disponibles para las plantas (Sánchez *et al.*, 2001; Daverede *et al.*, 2004; Benbi *et al.*, 2013). Además, la aplicación excesiva de fertilizantes químicos genera problemas de inocuidad y deterioro de la calidad de los alimentos, como la acumulación de nitratos en los productos vegetales que puede provocar metahemoglobinemia en menores (Ye *et al.*, 2020).

Debido a estos problemas se han sugerido y probado métodos alternativos de fertilización orgánica, tales como

*Autor para correspondencia: Félix David Murillo-Cuevas
 Correo electrónico: felix.mc@ugalvan.tecnm.mx

Recibido: 12 de junio de 2022

Aceptado: 19 de septiembre de 2022

los abonos orgánicos (Murillo *et al.*, 2016; Reyes-Pérez *et al.*, 2018; Mendivil-Lugo *et al.*, 2020), bioestimulantes (Torres *et al.*, 2016; Murillo *et al.*, 2021) y microorganismos (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2019; Adame-García *et al.*, 2021). Sin embargo, el uso de la fertilización orgánica siempre se asocia con menor rendimiento de los cultivos y, por lo tanto, mayor costo (Ye *et al.*, 2020). De tal forma que, la fertilización química no se puede excluir por completo si se pretende una producción considerable de alimentos. Por tal motivo, una alternativa que se puede utilizar es el manejo integrado de nutrientes, que no pretende eliminar por completo la fertilización química de manera inmediata, sino que sugiere el uso de inoculantes microbianos para reducir la cantidad de fertilizantes aplicados (Ye *et al.*, 2020).

Los bioestimulantes microbianos son productos a base de hongos micorrízicos y no micorrízicos, bacterias endosimbióticas y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (Calvo *et al.*, 2014), que se utilizan para mejorar la eficiencia nutricional en las plantas y la calidad del cultivo (du-Jardin, 2015). Estos reducen las enfermedades causadas por fitopatógenos, disminuyendo las fuentes de alimento por competencia de espacio y/o nutrientes, producen compuestos antimicrobianos y estimulan los mecanismos de defensa de las plantas. También, promueven el crecimiento de las plantas, mejoran la calidad de los frutos y aumentan el rendimiento en los cultivos a través de la producción de fitohormonas y disponibilidad de fosfatos y otros minerales necesarios para el metabolismo de las plantas (Rojas-Solís *et al.*, 2013; Ruiz-Cisneros *et al.*, 2019).

El uso de bioestimulantes microbianos en la horticultura ha aumentado el interés por estudiarlos, evaluarlos y conocer sus efectos. En el cultivo de chile, cepas de bacterias *Bacillus* y de hongos *Trichoderma* han sido eficientes para estimular el desarrollo de la raíz, plántula y planta, así como para mejorar la calidad de la fruta (Candelero *et al.*, 2015; Gamboa-Angulo *et al.*, 2020; Adame-García *et al.*, 2021). Además, productos comerciales a base de estos microorganismos también han tenido efectos positivos en la calidad de frutos en condiciones de macrotúnel (Murillo *et al.*, 2021).

En el cultivo de jitomate, cepas de bacterias *Enterobacter* y *Bacillus* incrementan de manera significativa la biomasa, el desarrollo de la planta y el rendimiento del cultivo en condiciones de invernadero (Sánchez *et al.*, 2012), así mismo, aislados de rizobacterias incrementan la biomasa de la parte aérea de las plántulas (Noh *et al.*, 2014). Igualmente, cepas de *B. amyloliquefaciens* incrementan significativamente la altura de la planta, longitud de raíz y el rendimiento del cultivo, además, cepas *B. subtilis* han mostrado efectos positivos en el diámetro y firmeza de los frutos (Ruiz-Cisneros *et al.*, 2019).

El macrotúnel es un sistema de producción que protege a los cultivos de los efectos que imponen los fenómenos climáticos, además permite el desarrollo de los cultivos en menor tiempo y mejora el rendimiento en menos espacio (Moreno *et al.*, 2011). Sin embargo, es poca la información que se tiene de la producción de hortalizas en este sistema (Velásquez *et al.*, 2014). De tal forma que se considera que

bioestimulantes a base de microorganismos ejercerán un efecto significativo en el tamaño y peso de fruto en los cultivos de chile morrón y jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos bioestimulantes comerciales a base de *Trichoderma* spp. y uno nuevo a base de *Bacillus* spp. en el diámetro, longitud y peso de frutos de chile morrón y jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el ciclo productivo 2021-2022 en el Tecnológico Nacional de México, Campus Úrsulo Galván en las coordenadas 19° 24' 43.12" latitud norte y 96° 21' 32.12" longitud oeste, ubicado en el municipio de Úrsulo Galván, en la región centro costera de Veracruz. El clima de esta región se clasifica como Aw (tropical húmedo-seco) por el sistema Köppen-Geiger, definido como cálido subhúmedo con lluvias en verano, con un rango de temperatura que oscila entre 24 y 26 °C, y un rango de precipitación entre 1100 y 1300 mm (INAP, 2013).

Características del macrotúnel

Para el desarrollo del experimento se utilizaron dos macrotúneles, uno para cada cultivo, con dimensiones de 3 m de ancho por 30 m de largo (90 m²), forrado con malla antiáfidos. Dentro de los macrotúneles se construyeron dos camas con composta de cachaza mezclada con suelo (1:10) y acolchado blanco-negro, las camas fueron de 90 cm de ancho y 30 cm de altura, separadas una de otra por un callejón de no menos de 40 cm de ancho, el marco de plantación fue de una planta cada 25 cm a tresbolillo, lo cual dio un total de 120 plantas por cama y 240 por macrotúnel. Se utilizó un sistema de riego de cuatro salidas de agua y 30 m de cintilla calibre 6000 para cada cama, conectadas a la línea principal con cuatro válvulas de paso para controlar el riego de cada cultivo.

Material vegetal

Se utilizaron semillas de chile morrón variedad Rhino de Lark Seed International® y semillas de jitomate variedad Atrevido F1 de Harris Moran®. Todas las semillas fueron germinadas en charolas e inoculadas directamente con micorizas (*Rhizophagus intraradices*) de INIFAP antes de ponerlas a germinar en sustrato a base de musgo (*Sphagnum* sp.), para permitir la asociación simbiótica entre el hongo y las raíces lo que ayudará a la planta a captar mayor cantidad de nutrientes y agua.

Manejo del cultivo

El trasplante del cultivo de chile morrón se realizó el 30 de septiembre 2021 y los cortes de frutos fueron a los 75, 90 y 118 días después del trasplante (DDT). En jitomate el trasplante se llevó a cabo el 05 de noviembre 2021 y los cortes de frutos a los 85, 95 y 106 DDT. En todos los tratamientos por igual se realizó una fertilización de los cultivos mínima tradicional la cual se muestra en la Tabla 1, se aplicó

Tabla 1. Fertilización química aplicada al suelo dirigida al cuello de la planta en cada uno de los tratamientos por cultivos.

Table 1. Chemical fertilization applied to the soil directed to the neck of the plant in each of the crop treatments.

Ingrediente	Nombre comercial	Dosis
Fósforo/Nitrato	DAP + Urea	1g DAP + 1g Urea en 20 mL
Micronutrientes	Bayfolan [®]	Foliar 2L ha ⁻¹ en 200L de agua
Boro/Calcio	CaBo Zinc [®]	Foliar 2L ha ⁻¹ en 200L de agua

en drench (20 mL por planta) a los 20, 50, 90 y 120 DDT. Se realizó la aplicación de ácidos húmicos (Hortihumus[®], 10%) a los 15 DDT y posteriormente cada 30 días. Además de aplicaciones foliares de micronutrientes cada 15 días y al inicio de la floración se les aplicó boro/calcio y después cada 20 días hasta concluir el ciclo productivo (Tabla 1).

Bioestimulantes

Los bioestimulantes que se utilizaron fueron productos a base de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp., los cuales son hongos y bacterias respectivamente. En la Tabla 2 se muestran los tratamientos evaluados: 1) Genifix[®], 2) T22[®], 3) Mix[®] y 4) testigo, su composición y dosis de aplicación.

Tabla 2. Tratamientos evaluados para determinar el efecto de los bioestimulantes en el diámetro, longitud y peso de fruto de chile morrón y jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel.

Table 2. Treatments evaluated to determine the effect of biostimulants on the diameter, length and weight of bell pepper and tomato fruit under protected macrotunnel conditions.

Tratamientos	Ingrediente activo	Compañía	Dosis
Genifi [®]	<i>Bacillus</i> sp. JVN5, <i>B. megaterium</i> strain VVM1, <i>Bacillus</i> sp. FDMC4, <i>B. subtilis</i> strain JAG3, <i>B. megaterium</i> strain EAV2	TecNM, Campus Úrsulo Galván	20 % (v/v)
T22 [®]	<i>Trichoderma harzianum</i> cepa T22	PHC	0.5 % (p/v)
MIX [®]	<i>T. harzianum</i> , <i>T. viride</i> , <i>T. asperellum</i> , <i>T. koningli</i>	Organismos benéficos	0.5 % (p/v)
Testigo	Agua		

Diseño experimental

Para cada cultivo se empleó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones distribuidos en dos camas, cada una con cuatro bloques que correspondieron a cada tratamiento y cuatro repeticiones por bloque. En cada bloque experimental los bioestimulantes se aplicaron mensualmente al suelo, dirigidos al cuello de la planta (drench). Todos los tratamientos tuvieron las mismas condiciones de germinación y manejo del cultivo. Las variables de respuesta peso, diámetro (ecuatorial) y longitud (diámetro polar) de fruto se tomaron durante tres cortes de frutos, para lo cual se tomaron cinco frutos al azar por repetición, además se tomó la variable peso total de 20 frutos elegidos al azar por tratamiento.

Análisis estadístico

Para comparar el efecto de los bioestimulantes en el peso, diámetro y longitud de fruto, además del peso de los

20 frutos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias de Tukey $\alpha = 0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat versión 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los bioestimulantes registraron un efecto positivo en el peso, diámetro y longitud de frutos de chile morrón en los tres cortes evaluados (Tabla 3). En el primer corte, los frutos de las plantas tratadas con los bioestimulantes fueron significativamente ($F_{3,196} = 8.66, p = 0.0001$) más pesados que los frutos de las plantas testigo (Tabla 3). Las diferencias significativas obtenidas en el segundo ($F_{3,196} = 14.26, p = 0.0001$) y tercer corte ($F_{3,196} = 17.61, p = 0.0001$), mostraron que todos los frutos de las plantas tratadas tuvieron mayor peso en relación a los frutos de las plantas testigo. Además, el producto Genifix[®] logró frutos de mayor peso en comparación a los productos T22[®] y Mix[®] (Tabla 3).

En cuanto al diámetro del fruto, las diferencias significativas en cada uno de los cortes (primero $F_{3,196} = 9.70, p = 0.0001$; segundo $F_{3,196} = 15.61, p = 0.0001$ y tercero $F_{3,196} = 18.26, p = 0.0001$) indicaron que los frutos de las plantas tratadas fueron superiores a los frutos de las plantas testigo (Tabla 3). En longitud de fruto, las diferencias significativas obtenidas en el primer corte ($F_{3,196} = 2.40, p = 0.0491$), mostraron que los frutos de las plantas con aplicaciones de T22[®] tuvieron mayor longitud en comparación a los frutos testigo. Para el segundo y tercer corte las diferencias significativas

Tabla 3. Efecto de los bioestimulantes en peso (g), diámetro y longitud (cm) de fruto de chile morrón en tres cortes de frutos en condiciones protegidas de macrotúnel.

Table 3. Effect of biostimulants on weight (g), diameter and length (cm) of bell pepper fruit in three harvests under protected macrotunnel conditions

Tratamiento	Cortes		
	1	2	3
PESO DEL FRUTO			
Genifix	257.38 ± 5.65 ^a	260.13 ± 5.43 ^a	262.05 ± 4.33 ^a
T22	240.15 ± 5.66 ^a	245.62 ± 4.43 ^{ab}	235.67 ± 4.33 ^b
Mix	256.68 ± 6.92 ^a	236.85 ± 5.42 ^b	235.58 ± 5.30 ^b
Testigo	215.85 ± 6.92 ^b	216.68 ± 4.43 ^c	213.33 ± 5.30 ^c
C.V. (%)	17.95	14.41	14.02
DIÁMETRO DEL FRUTO			
Genifix	8.29 ± 0.08 ^a	8.82 ± 0.11 ^a	8.42 ± 0.08 ^a
T22	8.19 ± 0.09 ^a	8.60 ± 0.09 ^a	8.30 ± 0.07 ^a
Mix	8.37 ± 0.12 ^a	8.11 ± 0.11 ^b	8.28 ± 0.09 ^a
Testigo	7.59 ± 0.12 ^b	8.02 ± 0.09 ^b	7.58 ± 0.08 ^b
C.V. (%)	9.01	8.10	7.24
LONGITUD DEL FRUTO			
Genifix	8.78 ± 0.62 ^{ab}	9.07 ± 0.10 ^a	9.87 ± 0.13 ^a
T22	9.92 ± 0.61 ^a	9.23 ± 0.12 ^a	9.29 ± 0.13 ^b
Mix	8.62 ± 0.76 ^{ab}	8.92 ± 0.11 ^a	9.54 ± 0.16 ^{ab}
Testigo	7.31 ± 0.74 ^b	8.48 ± 0.10 ^b	8.37 ± 0.15 ^c
C.V. (%)	54.46	8.49	11.14

Literales diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Los datos se presentan en $\bar{X} \pm E.E.$, C.V. = Coeficiente de Variación, Tukey $\alpha = 0.05$.

($F_{3,16} = 10.50, p = 0.0001$ y $F_{3,196} = 17.25, p = 0.0001$ respectivamente) señalaron que todos los bioestimulantes incrementaron la longitud de los frutos (Tabla 3). En el tercer corte el Genifix® fue superior al T22° en sus efectos sobre la longitud de los frutos.

Al analizar los tres cortes juntos de chile morrón, se observó que los frutos de las plantas con aplicaciones de bioestimulantes fueron significativamente ($F_{3,588} = 34.25, p = 0.0001$) más pesados que los frutos de las plantas testigo, además, los frutos de plantas con Genifix® fueron los más pesados (Tabla 4). En la variable diámetro, los frutos de plantas tratadas fueron significativamente ($F_{3,588} = 36.72, p = 0.0001$) más anchos que los frutos de las plantas testigo. Los frutos de plantas con Genifix® superaron en diámetro a los frutos de las plantas con Mix® (Tabla 4). Los frutos de plantas con Genifix® y T22° tuvieron la mayor longitud de frutos ($F_{3,588} = 6.94, p = 0.0001$) (Tabla 4).

Tabla 4. Efecto promedio de los bioestimulante en peso, diámetro y longitud de frutos de chile morrón en un total de tres cortes en condiciones protegidas de macrotúnel.

Table 4. Average effect of biostimulants on weight, diameter and length of bell pepper fruits in a total of three harvests under protected macrotunnel conditions.

Tratamiento	Variables de respuesta		
	Peso (g)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
Genifix	259.85 ± 3.02 ^a	8.51 ± 0.05 ^a	9.24 ± 0.23 ^a
T22	240.48 ± 2.79 ^b	8.36 ± 0.05 ^{ab}	9.48 ± 0.21 ^a
Mix	243.03 ± 3.42 ^b	8.25 ± 0.06 ^b	9.03 ± 0.26 ^{ab}
Testigo	215.29 ± 3.23 ^c	7.73 ± 0.06 ^c	8.05 ± 0.25 ^b
C.V. (%)	15.60	8.14	31.77

Literales diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Los datos se presentan en $\bar{X} \pm E.E.$, C.V. = Coeficiente de Variación, Tukey $\alpha = 0.05$.

En cuanto al peso de muestras de 20 frutos de chile morrón (Figura 1), en el primer corte no se registraron diferencias significativas ($F_{3,6} = 1.99, p = 0.2168$), en el segundo las diferencias significativas ($F_{3,6} = 13.74, p = 0.0043$) mostraron que los frutos de plantas con Genifix® y T22° fueron su-

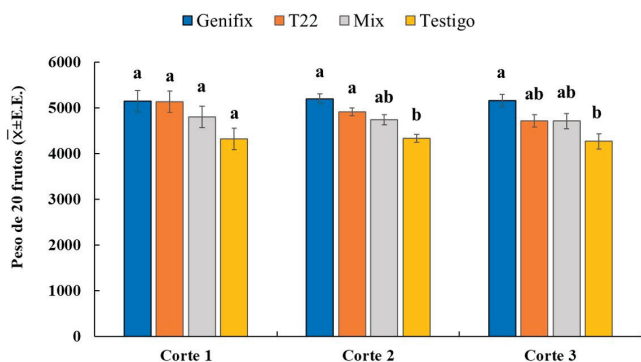


Figura 1. Efecto de los bioestimulante en el peso (g) de muestras de 20 frutos de chile morrón en tres cortes de frutos en condiciones protegidas de macrotúnel. Literales diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre tratamientos, Tukey $\alpha = 0.05$.

Figure 1. Effect of biostimulants on the samples weight (g) of 20 bell pepper fruits in three harvests under protected macrotunnel conditions. Different literals indicate statistical differences ($p < 0.05$) between treatments, Tukey $\alpha = 0.05$.

periores a los frutos de las plantas testigo. En el tercer corte, sólo la muestra de 20 frutos de plantas con Genifix® fueron significativamente ($F_{3,6} = 5.68, p = 0.0346$) más pesados que la muestra de 20 frutos de las plantas testigo (Figura 1).

En el cultivo de jitomate, los bioestimulantes también tuvieron un efecto positivo sobre el peso, diámetro y longitud de los frutos (Tabla 5). En el primer corte, los frutos de las plantas con aplicaciones de Genifix® fueron significativamente ($F_{3,180} = 10.80, p = 0.0001$) más pesados que los frutos de los otros tratamientos (Tabla 5). En el segundo corte, sólo plantas con aplicaciones de Genifix® y Mix® tuvieron frutos significativamente más pesados ($F_{3,452} = 13.17, p = 0.0001$) en comparación a los frutos testigo, y en el tercer corte, las diferencias significativas ($F_{3,461} = 3.83, p = 0.0099$) demostraron que únicamente los frutos de las plantas con Genifix® fueron más pesados que los frutos testigo (Tabla 5).

Tabla 5. Efecto de los bioestimulantes en peso (g), diámetro y longitud (cm) de fruto de jitomate en tres cortes de frutos en condiciones protegidas de macrotúnel.

Table 5. Effect of biostimulants on tomato fruit weight (g), diameter and length (cm) in three harvests under protected macrotunnel conditions.

Tratamiento	Cortes		
	1	2	3
PESO DEL FRUTO			
Genifix	110.96 ± 4.18 ^a	113.72 ± 5.51 ^a	107.19 ± 1.96 ^a
T22	86.05 ± 4.74 ^b	95.74 ± 2.94 ^b	103.09 ± 1.92 ^{ab}
Mix	83.15 ± 3.79 ^b	112.80 ± 3.01 ^a	104.48 ± 1.95 ^{ab}
Testigo	80.53 ± 5.07 ^b	96.02 ± 2.74 ^b	98.15 ± 1.92 ^b
C.V. (%)	32.56	28.25	20.24
DIÁMETRO DEL FRUTO			
Genifix	5.02 ± 0.09 ^a	5.32 ± 0.05 ^a	5.24 ± 0.06 ^a
T22	4.81 ± 0.10 ^{ab}	5.00 ± 0.06 ^b	5.17 ± 0.05 ^a
Mix	4.54 ± 0.11 ^{bc}	5.22 ± 0.06 ^a	5.12 ± 0.07 ^{ab}
Testigo	4.42 ± 0.08 ^c	4.99 ± 0.05 ^b	4.96 ± 0.05 ^b
C.V. (%)	13.82	11.76	11.62
LONGITUD DEL FRUTO			
Genifix	6.68 ± 0.15 ^a	6.90 ± 0.07 ^a	6.92 ± 0.08 ^a
T22	6.23 ± 0.17 ^{ab}	6.56 ± 0.07 ^b	6.61 ± 0.07 ^b
Mix	6.13 ± 0.18 ^{ab}	6.96 ± 0.08 ^a	6.57 ± 0.09 ^{bc}
Testigo	5.85 ± 0.13 ^b	6.48 ± 0.08 ^b	6.32 ± 0.07 ^c
C.V. (%)	16.76		12.27

Literales diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Los datos se presentan en $\bar{X} \pm E.E.$, C.V. = Coeficiente de Variación, Tukey $\alpha = 0.05$.

En la Tabla 5 se muestra que algunos bioestimulantes tuvieron un efecto positivo sobre el diámetro y longitud de los frutos de jitomate. En el primer corte los frutos de plantas con Genifix® y T22° fueron significativamente ($F_{3,180} = 8.84, p = 0.0001$) más anchos que los frutos testigo (Tabla 5). En el segundo corte los frutos de plantas tratadas con Genifix® y Mix® fueron significativamente ($F_{3,452} = 8.78, p = 0.0001$) más anchos que los frutos testigo, y en el tercer corte las diferencias significativas ($F_{3,461} = 4.65, p = 0.0032$) fueron de los frutos de plantas con Genifix® y T22°, con los mayores diámetros en comparación a los frutos testigo.

La longitud de frutos de jitomate también fue promovida por algunos de los bioestimulantes (Tabla 5). En el primer corte los frutos de plantas con aplicaciones de Genifix® fueron significativamente ($F_{3,180} = 5.84, p = 0.0008$) más largos que los frutos de las plantas testigo. En el segundo corte los frutos de plantas con bioestimulantes fueron significativamente ($F_{3,452} = 10.28, p = 0.001$) más largos que los frutos testigo, y en el tercer corte los frutos de plantas con aplicaciones de Genifix® y T22® registraron diferencias significativas ($F_{3,461} = 10.81, p = 0.0001$), con frutos más largos en comparación a los frutos de las plantas testigo (Tabla 5).

Al tomar en cuenta los tres cortes juntos de jitomate, los frutos de plantas tratadas con los bioestimulantes mostraron diferencias significativas en peso ($F_{3,1093} = 23.45, p = 0.0001$), diámetro ($F_{3,1093} = 18.55, p = 0.0001$) y longitud ($F_{3,1093} = 22.02, p = 0.0001$) (Tabla 6). Además, los frutos de plantas con aplicaciones de Genifix® superaron en peso, diámetro y altura a los frutos de las plantas tratadas con los otros bioestimulantes (Tabla 6).

Tabla 6. Efecto promedio de los bioestimulante en peso, diámetro y longitud de frutos de jitomate en un total de tres cortes en condiciones protegidas de macrotúnel.

Table 6. Average effect of biostimulants on weight, diameter and length of tomato fruits in a total of three harvests under protected macrotunnel conditions.

Tratamiento	Variables de respuesta		
	Peso (g)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
Genifix	110.62 ± 1.66 ^a	5.19 ± 0.04 ^a	6.83 ± 0.05 ^a
T22	94.96 ± 1.84 ^{bc}	4.99 ± 0.03 ^b	6.44 ± 0.06 ^b
Mix	99.27 ± 1.93 ^b	4.96 ± 0.04 ^b	6.55 ± 0.06 ^b
Testigo	92.44 ± 1.60 ^c	4.79 ± 0.05 ^c	6.24 ± 0.05 ^c
C.V. (%)	25.82	12.02	12.75

Literales diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Los datos se presentan en $\bar{X} \pm E.E.$, C.V. = Coeficiente de Variación, Tukey $\alpha = 0.05$.

En relación al peso de muestras de 20 frutos de jitomate (Figura 2), en el primer corte las diferencias significativas ($F_{3,8} = 32.12, p = 0.0001$) mostraron que las muestras de frutos de plantas con Genifix® y T22® tuvieron mayor peso en comparación a las muestras de los frutos testigo y del tratamiento Mix®. En el segundo corte se invirtieron los resultados para los frutos provenientes de las plantas con aplicaciones de T22® y Mix®, ya que muestras de 20 frutos de plantas con Genifix® y Mix® resultaron significativamente ($F_{3,8} = 23.50, p = 0.0003$) más pesadas que las muestras de frutos testigo y del tratamiento con T22®, y para el tercer corte únicamente las muestras de frutos de plantas con Genifix® fueron significativamente ($F_{3,8} = 9.53, p = 0.0051$) más pesadas que las muestras de frutos testigo (Figura 2).

El efecto de los bioestimulantes microbianos evaluados en este trabajo, que en la mayoría de los casos tuvieron resultados superiores al testigo sin aplicación de bioestimulantes, mostraron el potencial de estos para ser utilizados en la promoción del tamaño y peso de frutos de chile morrón y jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel, y con esto complementar una fertilización mínima requerida.

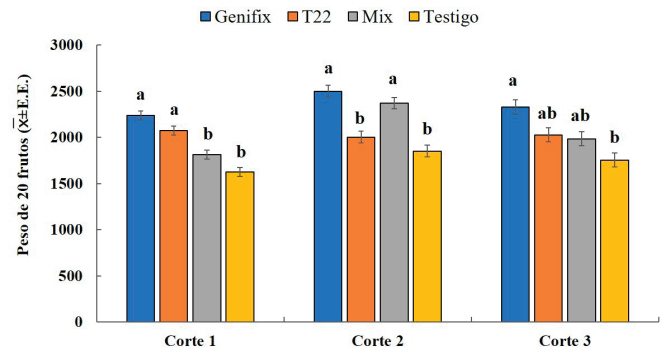


Figura 2. Efecto de los bioestimulante en el peso de muestras de 20 frutos de jitomate en en tres cortes de frutos en condiciones protegidas de macrotúnel. Literales diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre tratamientos, Tukey $\alpha = 0.05$.

Figure 2. Effect of biostimulants on the samples weight of 20 tomato fruits in three harvests under protected macrotunnel conditions. Different literals indicate statistical differences ($p < 0.05$) between treatments, Tukey $\alpha = 0.05$.

Genifix® es un producto a base de cepas de bacterias *B. megaterium* y *B. subtilis* obtenidas de suelos de sistemas agroforestales (Adame-García *et al.*, 2021), los cuales tienen mayor actividad enzimática y diversidad microbiana en comparación a los suelos de otros cultivos (Paudel *et al.*, 2012). Estas cepas del Genifix® han dado buenos resultados de forma individual en el desarrollo de plántulas con 38.63 cm de longitud y peso de frutos de hasta 6.45 g de chile habanero (Adame-García *et al.*, 2021), ya que estas bacterias se caracterizan por beneficiar a las plantas de forma directa mediante la producción de compuestos fitoestimulantes, o indirecta mediante la síntesis de compuestos con actividad antibiótica que inhiben el crecimiento de fitopatógenos (Rojas-Solís *et al.*, 2013), además de la solubilización de fosfatos y la fijación del nitrógeno (Tejera-Hernández *et al.*, 2011).

Los bioestimulantes T22® y Mix® a base de hongos del género *Trichoderma* mostraron también un efecto importante en el desarrollo de frutos más grandes y pesados en relación a los frutos testigo en la mayoría de los cortes y en el total de cortes. Los hongos del género *Trichoderma* incluyen hongos promotores del crecimiento vegetal y agentes de control biológico que se utilizan contra hongos fitopatógenos, también tienen efectos inductores sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, debido a la presencia de hormonas reguladoras de crecimiento que actúan como estimulantes en tejidos meristemáticos primarios en partes jóvenes (Candelero *et al.*, 2015). Se han desarrollado formulaciones comerciales de *Trichoderma* en todo el mundo debido a su alta eficacia, aunque la mayoría se limita a unas pocas especies, incluidas *T. harzianum*, *T. asperellum* y *T. viride* (Fernando *et al.*, 2018).

Con este trabajo se corroboran los efectos positivos de los bioestimulantes a base de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. en frutos de hortalizas, ya que, en su mayoría, la información que se tiene de los efectos de estos microorganismos es sobre la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas. Por ejemplo, aislados de *Bacillus* spp. aumentan el área foliar y biomasa seca en plántulas de chile habanero, además de

umentar significativamente la actividad de *B-glucanasas* (Sosa-Pech *et al.*, 2019). En el cultivo de jitomate, cepas de *Bacillus* han mejorado la longitud transversal de la hoja y el diámetro de tallo de la planta, y en el cultivo de zanahoria mejoran la masa fresca de la raíz (Rojas-Badía *et al.*, 2020).

También, *Trichoderma* spp. mejoran la altura, diámetro de tallo, biomasa aérea y volumen de raíz de plantas de chile habanero var. 'Chichén Itzá, así como la formación de hojas, área foliar e índice de clorofila (Larios *et al.*, 2019). Asimismo, tratamientos foliares con *T. harzianum* incrementan el número de hojas, de flores, la altura de planta, el largo y ancho de hojas, la cantidad de folíolos y los rendimientos en el cultivo de jitomate (Pérez *et al.*, 2013). En cuanto a la calidad o dimensiones de frutos, se ha indicado que especies de *Trichoderma* mejoran el peso de frutos en diferentes variedades de chile serrano (Espinoza *et al.*, 2019). Además, cepas de *B. subtilis* han mostrado efectos positivos en el diámetro y firmeza de frutos de jitomate, mejoraron algunos parámetros de la calidad del fruto (Ruiz-Cisneros *et al.*, 2019).

En relación a los bioestimulantes evaluados Genifix®, T22® y Mix®, Murillo *et al.* (2021) reportan sus efectos en el tamaño y peso de frutos de chile habanero, obteniendo frutos significativamente más grandes y pesados con el uso de estos bioestimulantes; sin embargo, a diferencia de nuestros resultados, los tratamientos T22® y Mix® tuvieron mejor desempeño en el desarrollo del tamaño del fruto que el producto Genifix®, lo que indica que este producto fue menos eficiente en el cultivo de chile habanero en comparación a los cultivos de jitomate y chile morrón. Estos resultados pueden deberse a una mejor actividad de las cepas de *Bacillus* del producto Genifix® en la inducción de síntesis de hormonas y sistemas de protección en las plantas de jitomate y chile morrón, a diferencia de lo que ocurre en las plantas de chile habanero reportados por Murillo *et al.* (2021).

Los bioestimulantes T22® y Mix® tuvieron desempeños diferentes en el peso y dimensiones de los frutos, siendo ligeramente superior el bioestimulante T22®, lo cual puede explicarse al ser productos con cepas distintas, lo que permite la posibilidad de que tengan atributos bioquímicos diferentes; por ejemplo, en la producción de auxinas, ácidos orgánicos y solubilización de fosfatos inorgánicos, que permiten que una cepa sea mejor promotora de crecimiento a comparación de otras (Ortuño *et al.*, 2013). Esto debido a que cada cepa y/o especie de *Trichoderma* posee diferentes atributos para la estimulación del crecimiento vegetal y desarrollo de frutos, lo cual se ha confirmado en trabajos como el de Larios *et al.* (2019), en el cual determinaron la efectividad de dos cepas nativas de *Trichoderma* sp. (SP6 y Clombta) en plantas de *C. chinense* var. "Chichen Itza", encontrando que las plantas tratadas con *Trichoderma* cepa Clombta presentaron mayor crecimiento vegetal y desarrollo de fruto.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos los bioestimulantes evaluados mejoraron del tamaño y peso de frutos de chile morrón y jitomate en plantas con un manejo mínimo

tradicional de fertilización en condiciones de macrotúnel. El producto Genifix® tuvo un mejor desempeño como bioestimulante en el tamaño y peso frutos de chile morrón y jitomate en comparación a los otros productos.

Este trabajo constituye un aporte al conocimiento científico sobre los efectos de bioestimulantes a base de cepas de *Bacillus* y *Trichoderma* sobre el desarrollo de frutos de jitomate y chile morrón en condiciones protegidas de macrotúnel, con la finalidad de que se consideren como alternativas para mejorar la calidad en el tamaño y peso de frutos en la producción de alimentos.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento de los proyectos "Producción de chile serrano, chile morrón y berenjena en condiciones protegidas con enfoque de agricultura sustentable en Úrsulo Galván, Veracruz" clave 14326.22-P y "Alternativa innovadora de producción sustentable de alimentos para escuelas productivas" clave 14151.22-P.

REFERENCIAS

- Adame-García, J., Murillo-Cuevas, F.D., Flores-de la Rosa, F.R., Velázquez-Mendoza, V., López-Vázquez, M., Cabrera-Mireles, H. y Antonio-Vázquez, E. 2021. Identificación molecular y evaluación de bacterias en el desarrollo vegetativo y producción de chile habanero. *Biotecnia*. 23(3): 151-157.
- Benbi, D.K. 2013. Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Soils: Sources and Mitigation Potential. *Journal of Crop Improvement*. 27(6): 752-72.
- Candelero, D.J., Cristóbal, A.J., Reyes, R.A., Tun, S.J.M., Gamboa, A.M.M y Ruíz, S.E. 2015. *Trichoderma* spp. promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagónicas contra *Meloidogyne incognita*. *PHYTON*. 84: 113-119.
- Calvo, P., Nelson, L. y Kloepper, J.W. 2014. Agricultural uses of plant bioestimulants. *Plant Soil*. 383: 3-41.
- Chen, L., Vigneault, C., Vijaya, R.G.S. y Kubow, S. 2007. Importance of the phytochemical content of fruits and vegetables to human health. *Stewart Postharvest Review*. 3: 1-5.
- Daverede, I.C., Kravchenko, A.N., Hoeft, R.G., Nafziger, E.D., Bullock, D.G., Warren, J.J. y Gonzini, L.C. 2004. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. *Journal of Environmental Quality*. 33:1535-1544.
- du-Jardin, P. 2015. Plants bioestimulants: definition, concept, main categories, and regulation. *Scientia Horticulturae*. 196: 3-14.
- Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P. Salas-Pérez, L., García-Hernández, J.L., Preciado-Rangel, P., Sáenz-Mata, J. y Reyes-Carrillo, J. L. 2019. Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. *Biotecnia*. 21(3): 100-107.
- Espinoza, A.C.A., Gallegos, M.G., Ochoa, F.Y.M., Hernández, C.F.D., Méndez, A.R. y Rodríguez, G.R. 2019. Antagonistas microbianos para biocontrol de la marchitez y su efecto promotor en el rendimiento de chile serrano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, publicación especial*. 23: 187-197.

- Fernando, D., Milagrosa, S., Francisco, C. y Francisco, M. 2018. Biostimulant Activity of *Trichoderma saturnisporum* in Melon (*Cucumis melo*). HORTSCIENCE. 53(6):810-815.
- Gamboa-Angulo, J., Ruíz-Sánchez, E., Alvarado-López, C., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V.M. y Medina-Dzul, K. 2020. Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). Terra Latinoamericana. 38(4): 817-826.
- Hervert-Hernández, D., García, O.P., Rosado, J.L. y Goñi, I. 2011. The contribution of fruits and vegetables to dietary intake of polyphenols and antioxidant capacity in a Mexican rural diet: Importance of fruit and vegetable variety. Food Research International. 44: 1182-1189.
- Instituto Nacional de Administración Pública (INAP). 2013. Diagnósticos Municipales PACMA, entidad: Veracruz de Ignacio de la Llave, Municipio: Úrsulo Galván. Instituto Nacional de Administración Pública. México 49p.
- Larios, L.E.J., Valdovinos, N.J. de J.W., Chan, C.W., García, L.F.L., Manzo, S.G. y Buenrostro, N.M.T. 2019. Biocontrol de damping off y promoción del crecimiento vegetativo en plantas de *Capsicum chinense* (Jacq) con *Trichoderma* spp. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10: 471-483.
- Mendivil-Lugo, C., Nava-Pérez, E., Armenta-Bojórquez, A.D., Ruelas-Ayala R.D., y Félix Herrán, J.A. 2020. Elaboración de un abono orgánico tipo bocashi y su evaluación en la germinación y crecimiento del rábano. Biotecnia. 22(1): 17-23.
- Murillo, R. A. L., Pérez, J. J. R., Cunuhay, K. A. E., Murillo, M. V. L., Quintana, F. V. L., Mero, M. V. C., Coronely, A.L.E., Herrada, M.R., Bravo, D.A.C., Mendoza, A.F.A., y Rodríguez, J.C.G. 2016. Efecto de diferentes abonos orgánicos en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum*, L.). Biotecnia. 18(3): 33-36.
- Murillo, C.F.D., Cabrera, M.H., Adame, G.J., Vásquez, H.A., Martínez, G.A. de J. y Luria, M.R. 2021. Bioestimulantes en la calidad de frutos de chile habanero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 12(18): 1473-1481.
- Moreno, R.A., Aguilar, D.J. y Luévano, G.A. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios. 15(29): 763-774.
- Noh, M. J., Yam, C.C., Borges, G.L. Zúñiga, A.J.J. y Hernández, G.G. 2014. Aislados bacterianos con potencial biofertilizante para plántulas de tomate. Terra latinoamericana. 32(4): 273-281.
- Ortuño, N., Miranda, C. y Claros, M. 2013. Selección de cepas de *Trichoderma* spp. generadoras de metabolitos secundario de interés para su uso como promotor de crecimiento en plantas cultivadas. Journal of the Selva Andina Biosphere. 1: 16-32.
- Paudel, B.R., Udawatta, R.P., Kremer, R.J., y Anderson, S.H. 2012. Soil quality indicator responses to row crop, grazed pasture, and agroforestry buffer management. Agroforestry Systems. 84: 311-323.
- Pérez, G.Y., Ayala, S.J.L., Calero, H.A. 2013. Efecto bioestimulante de dos formulados líquidos de *Trichoderma harzianum* Rifai A-34 en la producción protegida de tomate el cultivo de tomate protegido. Centro Agrícola. 40: 53-56.
- Ramya, V. y Patel, P. 2019. Health benefits of vegetables. International Journal of Chemical Studies. 7: 82-87.
- Reyes-Pérez, J.J., Luna-Murillo, R.A., Zambrano-Burgos, D., Vázquez-Morán, V.F., Rodríguez-Pedroso, A.T., Ramírez-Arrebato, M.Á., Guzmán-Acurio, J.A., González-Rodríguez, J.C. y Torres-Rodríguez, J.A. 2018. Efecto de abonos orgánicos en el crecimiento y rendimiento agrícola de la berenjena (*Solanum melongena* L.). Biotecnia. 20(1): 8-12.
- Rojas-Badía, M.M., Bello-González, M.A., Ríos-Rocafull, Y., Lugo-Moya, D. y Rodríguez, S.J. 2020. Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales. Acta Agronomica. 69(1): 54-60.
- Rojas-Solís, D., Contreras-Pérez, M. y Santoyo, G. 2013. Mecanismos de estimulación del crecimiento vegetal en bacterias del género *Bacillus*. Biológicas. 15(2): 36-41.
- Ruiz-Cisneros, M.F., Ornelas-Paz, J.J., Olivas-Orozco, G.I., Acosta-Muñoz, C.H., Sepúlveda-Ahumada, D.R., Zamudio-Flores, P.B., Berlanga-Reyes, D.I., Salas-Marina, M.A., Cambero-Campos, O.J., Ríos-Velasco, C. 2019. Effect of *Bacillus* strains alone and in interaction with phytopathogenic fungi on plant growth and tomato fruit quality. Revista Bio Ciencias. 6: 1-17.
- Sánchez L.D.B., Gómez-Vargas, R.M., Garrido, R.M.F. y Bonilla, B.R.R. 2012. Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3(7): 1401-1415.
- Sánchez, L., Díez, J.A., Vallejo, A. y Cartagena, M.C. 2001. Denitrification losses from irrigated crops in central Spain. Soil Biology & Biochemistry. 33: 1201-1209.
- Sosa-Pech, M., Ruiz-Sánchez, E., Tun-Suárez, J.M., Pinzón-López, L.L. y Reyes-Ramírez, A. 2019. Germinación, crecimiento y producción de glucanasas en *Capsicum chinense* Jacq. inoculadas con *Bacillus* spp. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 6:137-143.
- Tejera-Hernández, B., Rojas-Badía, M.M. y Heydrich-Pérez, M. 2011. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. Revista CENIC Ciencias Biológicas. 42(3): 131-138.
- Torres, R.J.A., Reyes, P.J.J. y González, R.J.C. 2016. Efecto de un bioestimulante natural sobre algunos parámetros de calidad en plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) bajo condiciones de salinidad. Biotecnia. 18(2): 11-15.
- Velásquez, V.P., Ruíz, E.H., Chaves, J.G. y Luna, C.C. 2014. Productividad de lechuga *Lactuca sativa* en condiciones de macrotúnel en suelo *Vitric haplustands*. Revista de Ciencias Agrícolas. 31(2): 93-105.
- Ye, L., Zhao, X., Bao, E., Li, J., Zou1, Z. y Cao, K. 2020. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality. Scientific Reports. 10:1-11.