

Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.)

Effect of microbial biofertilizers on the agronomic characteristic of the plant and fruit quality of xcat'ik pepper (*Capsicum annuum* L.)

Jacobo Gamboa-Angulo¹ , Esaú Ruíz-Sánchez¹ , Carlos Alvarado-López² ,
Federico Gutiérrez-Miceli³ , Víctor M. Ruíz-Valdiviezo³ y Kati Medina-Dzul^{1*} 

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal, ² CONACyT-TecNM. Av. Tecnológico s/n. 97345Conkal, Yucatán, México.

* Autora para correspondencia (kati.medina@itconkal.edu.mx)

³ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Carretera Panamericana km 1080. 29050 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

RESUMEN

El chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.) es el segundo más consumido en la península de Yucatán, después del habanero. Los biofertilizantes microbianos son una opción factible de integrarse a los sistemas de producción para disminuir el uso de fertilizantes químicos. El objetivo del trabajo se basó en la evaluación del efecto de la aplicación de *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzanium* y un consorcio microbiano en las características agronómicas de la planta y la calidad del fruto del chile xcat'ik. El experimento se realizó en condiciones de invernadero, a través de un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. De acuerdo a los resultados se encontró que la aplicación de *B. subtilis* incrementó significativamente la altura de plantas respecto al testigo, así mismo la aplicación de *B. subtilis* y *T. harzanium* incrementó el volumen de raíz. Se observó que existen diferencias estadísticas en los contenidos de lípidos y proteínas en el fruto de plantas biofertilizadas con *T. harzanium*, y que en los frutos de plantas tratadas particularmente con *B. subtilis* y *T. harzanium* se acumulan mayores cantidades de fósforo.

Palabras clave: *B. subtilis*, *T. harzanium*, *C. annuum*, elementos minerales en fruto, composición nutrimental de fruto.

SUMMARY

Xcat'ik (*Capsicum annuum* L.) is the second most consumed pepper in the Yucatan Peninsula, after habanero pepper. The microbial biofertilizers are a feasible option to integrate into production systems to decrease the use of chemical fertilizers. The objective of this work was based on the evaluation of the effect of the application of *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzanium* and a microbial consortium on the agronomic characteristics of the plant and fruit quality of xcat'ik pepper. The experiment was conducted under greenhouse conditions through a completely randomized blocks experimental design with four replicates. According to the results, it was found that the application of *B. subtilis* significantly increased plant height, while the application of *B. subtilis* and *T. harzanium* increased root volume. Statistical differences in the lipid and protein contents in fruits of plants biofertilized with *T. harzanium* were observed, and greater amounts of phosphorous accumulate in the fruits of plants treated with *B. subtilis* and *T. harzanium*.

Index words: *B. subtilis*, *T. harzanium*, *C. annuum*, mineral content of fruit, nutrient composition of fruit.

Cita recomendada:

Gamboa-Angulo, J., E. Ruíz-Sánchez, C. Alvarado-López, F. Gutiérrez-Miceli, V. M. Ruíz-Valdiviezo y K. Medina-Dzul. 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: 817-826.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>

Recibido: 09 de enero de 2020.

Aceptado: 22 de junio de 2020.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 38: 817-826.

INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum* es nativo de América del norte y consta de 27 especies, cinco de ellos se usan como vegetales frescos o especias: *Capsicum annuum* L., *Capsicum chinense*, Jacq, *Capsicum frutescens* L., *Capsicum baccatum* L., *Capsicum pubescens* L. (Ibiza *et al.*, 2012).

En México, en la península de Yucatán, se encuentran variantes de gran importancia regional como los ya'x ik (chile verde), xcat'ik, dulce, chowak, picopaloma y sukurre (*C. annuum* L.) (Latournerie-Moreno *et al.*, 2002; Cázares-Sánchez *et al.*, 2005). El chile xcat'ik es el segundo más consumido después del chile habanero. Su consumo es en fresco principalmente y es un elemento clave en la cocina yucateca y muy aceptado por el turismo nacional e internacional debido a su bajo contenido de capsaicina y su aroma característico, lo que permite una utilización versátil en platillos regionales (Cázares-Sánchez *et al.*, 2005).

La producción de chile xcat'ik se lleva a cabo por pequeños productores, los cuales utilizan esquemas de baja tecnología y nutrición mineral insuficiente, debido a la escasez de recursos económicos destinados a la producción. En este sentido, el uso de estrategias alternativas de nutrición vegetal podría tener efectos positivos en el incremento de producción de fruto sin aumento considerable del costo de producción y del costo ambiental. Algunos estudios a nivel laboratorio y en pequeña escala en invernadero han demostrado que este cultivo responde positivamente al uso de insumos biorracionales (Sosa-Pech *et al.*, 2019). Una opción para sustituir el excesivo uso de fertilizantes químicos es el empleo de biofertilizantes como los microorganismos rizosféricos promotores de crecimiento vegetal, los cuales pueden mejorar el vigor de las plantas e incrementar el rendimiento de frutos (González y Fuentes, 2017). La inoculación con microorganismos rizosféricos promueve la fertilidad del suelo por medio de la solubilización y mineralización de nutrientes mediante ácidos orgánicos (Nadeem *et al.*, 2013). Algunos microorganismos también pueden producir reguladores de crecimiento, como el ácido indol acético, que las plantas aprovechan de manera directa, además de coadyuvar al suministro de algunos elementos minerales, como es el caso del fósforo por los hongos micorrícicos (González-

Mancilla *et al.*, 2017). Específicamente en el género *Capsicum* se ha demostrado que la inoculación de agentes microbianos mejora los rendimientos y características agronómicas (crecimiento de tallo, follaje y raíz) cuando se aplican de manera individual o en consorcio (Kanchana *et al.*, 2014). En el cultivo de *C. annuum*, Vazallo *et al.* (2013) obtuvieron mayor crecimiento en la longitud de raíz y más biomasa seca de raíz, aplicando *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride*.

El uso de microorganismos rizosféricos como biofertilizantes también puede mejorar la calidad de fruto de algunos cultivos, a través del incremento en el contenido de elementos nutrimentales, por ejemplo, el aumento de Ca produce una cáscara más rígida cuando la fruta está madura, el aumento de K conduce a un incremento en la translocación de carbohidratos a la hoja y en consecuencia se obtiene un mayor volumen de fruta, entre otros cambios en la calidad del fruto (Jiménez-Gómez *et al.*, 2017). En este sentido algunos estudios han evaluado el contenido nutricional de frutas después de la inoculación con rizobacterias específicamente en el género *Capsicum*, Aguirre y Espinosa (2016) reportaron que cuando inocularon individualmente los microorganismos *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum brasilense* y co-inoculando con *Rhizophagus intraradices* + *Azospirillum brasilense* el número de frutos incrementó. Silva *et al.* (2014) reportaron un incremento en la actividad antioxidante de *Capsicum annuum* con la inoculación de *Rhizobium leguminosarum* PETP01. Dursun *et al.* (2010) realizaron estudios con la inoculación de *Bacillus subtilis* BA-142, *Bacillus* en *Solanum Lycopersicum* y observaron un incremento en N, Mg, P, Ca, Na, K, Cu, Mn y Fe. Ordookhani *et al.* (2013) obtuvieron altos contenidos de vitamina C y minerales como P y Ca en tomates tratados con *Azospirillum* + *Azotobacter* + *Micorriza* (*Glomus interaradices* + *Glomus mossea* + *Glomus etanicatum*). También Yildirim *et al.* (2011) evaluaron los efectos de inoculantes microbianos (*Bacillus cereus*, *Brevibacillus reuszer* y *Rhizobium rubi*) en brócoli y reportaron incrementos de N, K, Ca, S, P, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu. Dado lo anterior. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación del efecto de la aplicación de inoculantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y Preparación del Área Experimental

El experimento se realizó en un invernadero tipo túnel en el área de investigación hortícola del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, al noreste de Mérida a 21° 4' N y 89° 31' O.

El material genético utilizado fue chile xcat'ik criollo Itck01, de tres ciclos de mejoramiento masal. La población original se obtuvo directamente de productores de la zona de Peto, Yucatán en 2016. La plantación se estableció en 12 líneas de 38 m de largo y 1.2 m de separación entre ellas, las líneas contenían camas de 30 cm de ancho, por metro lineal de cama de siembra las cuales fueron abonadas con 2 kg de composta, elaborada con estiércol de ovejas, biomasa seca de pasto (*Stenotaphrum secundatum* y *Cynodon Plectostachyus*), de hierbas anuales (*Bidens pilosa* y *Viguiera dentata*) y follaje y ramas de árboles tropicales (*Piscidia piscipula*, *Leucaena leucocephala* y *Bursera simaruba*). Esta composta se elabora en el Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, el Instituto lo tiene disponible comercialmente en la región. La composta fue utilizada para proporcionar mejor soporte de sustrato y nutrientes al suelo. El suelo en el invernadero es producto de algunos aportes externos realizados en ciclos anteriores, incluyendo aporte de suelo arenoso.

Las plantas de 45 días de germinadas se establecieron en las camas a una distancia de 0.3 m entre ellas. Así, se tuvo en total 1520 plantas en todo el experimento. La fertilización (kg ha⁻¹) con N:P:K fue en proporción 200:150:180 para el ciclo de 180 días de chile xcat'ik (Cuadro 1). El suelo que se utilizó fue de la región cuya textura se clasificó como franca con 33.88 % de arena, 46% de limo, 20.12% de arcilla, (ver la composición química de la composta y nutrimental del suelo en

**Cuadro 1. Fertilización en kg por etapa fenológica de chile xcat'ik tomando como base la densidad de 20 000 plantas ha⁻¹.
Table 1. Fertilization in kg per phenological stage of xcat'ik pepper based on the density of 20 000 plants ha⁻¹.**

Etapa fenológica	Días después del trasplante	Cantidad de fertilizante		
		N	P	K
Adaptación	1-15	37.5	22.5	30.5
Crecimiento	16-34	75.5	30.5	44
Floración	36-60	42	60.5	50.5
Cosecha	61-160	45	36.5	55

el Cuadro 2). Se utilizó un sistema de riego por goteo con gasto nominal de 1 L h⁻¹, la composición del agua de riego se encuentra en el Cuadro 3.

Para el control del ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*) se realizaron aplicaciones de azufre elemental (Nimbus® 4 g L⁻¹ agua) a los 100 y 120 días después del trasplante (ddt), para el control de mosquita blanca (*Bemisia tabacii*) se realizaron dos aplicaciones de imidacoprid (Confidor® 350 SC, 3 mL L⁻¹ agua) a los 90 y 140 ddt. Se realizaron cinco aplicaciones de micronutrientes foliares a los 30, 60, 90, 120 y 150 ddt (Sagaquel Multi®, 4 mL L⁻¹). Todos los productos se aplicaron a dosis medias recomendadas por el fabricante, tomando en consideración 500 L ha⁻¹ de mezcla de aplicación para aplicaciones foliares.

Diseño Experimental y Descripción de Tratamientos

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y cuatro bloques (repeticiones). Las parcelas en cada bloque contenían 30 plantas.

**Cuadro 2. Composición química de la composta y suelo.
Table 2. Chemical composition of the compost and soil.**

	pH	CE	N	M.O.	P	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Mn
		ds m ⁻³	---	%	---	---	---	---	---	---	---	---
						mg	kg ⁻¹					
Composta	7.4	1.4	1.45	N.D.	13 101	15 276	9207	559	4171	66	397	379
Suelo	7.8	0.1279	0.57	10.63	48	5525	517	112	247	4	19	10

N.D. = no determinado.

N.D. = not determined.

Cuadro 3. Composición del agua de riego.
Table 3. Composition of irrigation water.

pH	CE	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	RAS	Ca	Mg	Na
	ds m ⁻³	----- mg L ⁻¹ -----					----- mg L ⁻¹ -----		
6.8	0.073	N.D	476.7	4.15	163.9	298	70.7	23.2	113.1

CE = conductividad eléctrica; CO₃²⁻ = carbonatos; HCO₃⁻ = bicarbonatos; SO₄²⁻ = sulfatos; Cl⁻ = cloruros; RAS = análisis de relación de absorción de sodio.
 CE = electrical conductivity; CO₃²⁻ = carbonates; HCO₃⁻ = bicarbonates; SO₄²⁻ = sulfates; Cl⁻ = chlorides; RAS = sodium absorption ratio analysis.

Los tratamientos se basaron en la aplicación de biofertilizantes (inoculantes microbianos) comerciales y un testigo. Las concentraciones de los microorganismos en los biofertilizantes comerciales y las cantidades de mezcla aplicadas en los tratamientos fueron las siguientes: para el tratamiento consorcio microbiano, se usó el producto comercial Promicorriza® (*Glomus* spp., 33 propágulos g⁻¹ + *Bacillus megaterium* + *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum brasilense* + *Azotobacter chroococcum*, 5 × 10⁸ ufc g⁻¹, 10 g L⁻¹); para el tratamiento *B. subtilis* se usó el producto comercial Baktilis® (*Bacillus subtilis* 1 × 10¹² ufc mL⁻¹, 10 mL L⁻¹); para el *Trichoderma harzianum* se usó el producto comercial Tricho-Bio® (1 × 10¹¹ ufc mL⁻¹, 10 mL L⁻¹). Adicionalmente se incluyó un testigo sin inoculante.

Los inoculantes se aplicaron con ayuda de una aspersora manual de mochila a los 7, 14, 21 y 28 ddt, las aplicaciones (10 mL por planta) se dirigieron al suelo, en la base del tallo de las plantas.

Variables Agronómicas

Para las variables de crecimiento se seleccionaron y etiquetaron cinco plantas de la parte central de cada parcela, de tal manera que se pudieran medir las mismas plantas durante todo el experimento. El crecimiento de las plantas se evaluó midiendo la altura y grosor del tallo a los 36, 44 y 52 ddt. La altura se midió con un flexómetro desde la base de tallo hasta el ápice terminal. El diámetro del tallo se midió con un vernier digital a los tres cm de la superficie del suelo. Se tomaron cinco plantas por parcela.

Las muestras de las raíces fueron tomadas siguiendo el método del tablero metálico monolítico reportado por Leskovar *et al.* (1990).

La biomasa seca de raíz se evaluó a los 180 ddt, para lo cual se tomaron dos plantas por parcela. Las raíces se seccionaron y se secaron en una estufa

a 65 °C durante siete días. Se calculó además el volumen de raíz mediante la técnica de desplazamiento de agua, utilizando un cilindro transparente y con volumen graduado, el cual se llenó hasta un volumen conocido, adentro se colocaron las raíces evitando que estas toquen las paredes y se midió el nivel de agua ascendido (agua desplazada por el sólido de las raíces) desde los mililitros iniciales, la diferencia determinó el volumen de las raíces (Harrington *et al.*, 1994).

Para las variables relacionadas con el rendimiento de fruto, se realizaron siete cortes de frutos en función de madurez comercial, lo que se indica con el inicio de cambio de color verde a rojo en la base de los frutos. En cada corte se tomaron 10 frutos por parcela para obtener el promedio de peso de fruto individual. Además, se evaluó el número total de frutos y rendimiento de fruto (kg) por planta. Para evaluar estas variables se tomaron cinco plantas del centro de las parcelas. Las plantas consideradas para esta variable siempre fueron las mismas.

Análisis de Calidad Bromatológica del Fruto

Para el análisis bromatológico, en la cosecha número tres, se seleccionaron frutos sanos y sin ningún daño para formar una muestra de 1 kg por tratamiento. Los frutos se lavaron con agua destilada, se fraccionaron y se deshidrataron en una estufa de convección a 60 °C por 4 días, consecutivamente se molieron en un molino Ika® Werke modelo Mf 10 basic. De estas muestras se determinó la composición bromatológica (contenido de ceniza, lípidos, proteína, fibra y minerales).

La composición bromatológica se determinó mediante los métodos oficiales de la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000): proteína (954.01), lípidos (920.39) y cenizas (923.03). El factor de conversión para proteínas fue 6.25. La fibra cruda fue determinada por el método de la bolsa de papel filtro basándose en el método de la AOAC (2000) con

modificaciones, el cuál utiliza digestión ácida con H_2SO_4 (1.25%) y digestión alcalina con NaOH (1.25%) con el analizador de fibras ANKOM, modelo A2000, NY.

La determinación de minerales se realizó de acuerdo a Villegas *et al.* (2006) con modificaciones, los frutos molidos se calcinaron en mufla a 600 °C por 4 h, las cenizas se solubilizaron por calentamiento en 2 mL de ácido nítrico 1:1; antes de la dilución final, la cual se aforó con agua desionizada y la solución ácida fue usada para determinar los minerales (Fe, Zn, Ca, K, Na y Mg) por espectroscopia de absorción atómica con el espectrofotómetro GBC, modelo 932 plus, Australia. La determinación de P se realizó por espectroscopia Uv-Vis con el espectrofotómetro GBC, modelo CINTRA, UV2800PC, Australia.

Análisis de Datos

Los datos de crecimiento vegetal, características bromatológicas y cuantificación de minerales del fruto no tuvieron distribución normal, por lo tanto, fueron evaluados por medio de modelos lineales generalizados (GLM), mediante el uso de la familia Poisson y función de enlace logaritmo. Las comparaciones *a posteriori* se realizaron con la prueba de Bonferroni ($P \leq 0.05$). Todos los datos se analizaron en el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento y Producción de Fruto en Chile xcat'ik

En el análisis de crecimiento vegetal se observó que las plantas tratadas con *B. subtilis* tuvieron significativamente ($P \leq 0.05$) mayor altura a los 44 y 52 ddt, en comparación con las plantas del testigo y las tratadas con el consorcio microbiano. Por su parte, la variable diámetro del tallo no mostró diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 4).

La biomasa seca de raíz no mostró diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, el volumen de raíz fue mayor ($P \leq 0.05$) en plantas tratadas con *B. subtilis* y *T. harzianum* (Cuadro 5).

Peso, Número y Rendimiento de Frutos

El análisis del efecto de los biofertilizantes en las características de frutos y rendimiento no mostró efectos significativos en las variables número de frutos por planta y peso promedio de frutos. El número de frutos por planta estuvo en el rango de 47 a 51 frutos. El peso promedio de fruto estuvo en el rango de 34.42 a 37.41 g. Para el caso de rendimiento de fruto, se observó diferencia significativa, siendo las plantas inoculadas con *B. subtilis* las de mayor rendimiento comparado con las inoculadas con el consorcio microbiano y

Cuadro 4. Efecto de los biofertilizantes en el crecimiento vegetativo de chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.).
Table 4. Effect of biofertilizers on the vegetative growth of xcat'ik pepper (*Capsicum annuum* L.).

Tratamiento	Días después del trasplante		
	36	44	52
	Altura de planta (cm)		
Consortio microbiano	65.5 ± 2.3 a	99.6 ± 3.1 b	131.5 ± 3.6 b
<i>B. subtilis</i>	66.5 ± 2.1 a	108.5 ± 2.3 a	142.1 ± 3.7 a
<i>T. harzianum</i>	64.1 ± 1.9 a	100.6 ± 3.5 ab	135.7 ± 4.8 ab
Testigo	69.4 ± 2.1 a	99.0 ± 2.1 b	130.6 ± 2.8 b
	Diámetro de tallo (mm)		
Consortio microbiano	8.0 ± 0.4 a	11.1 ± 0.4 a	14.6 ± 0.4 a
<i>B. subtilis</i>	9.1 ± 0.5 a	11.9 ± 0.3 a	14.5 ± 0.4 a
<i>T. harzianum</i>	8.7 ± 0.6 a	11.6 ± 0.4 a	14.1 ± 0.4 a
Testigo	9.0 ± 0.4 a	11.5 ± 0.3 a	14.3 ± 0.3 a

Medias (± EE) con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$; Bonferroni).

Means (± EE) with different letter in a column are statistically different ($P \leq 0.05$; Bonferroni).

Cuadro 5. Efecto de los biofertilizantes en la biomasa seca de órganos de la planta a los 180 ddt y el volumen de raíz por planta de chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.).

Table 5. Effect of biofertilizers on the dry biomass of plant organs at 180 ddt and the root volume per plant of xcat'ik pepper (*Capsicum annuum* L.).

Tratamiento	Peso de raíz	Volumen de raíz
	g	cm ³
Consortio microbiano	15.8 ± 2.5 a	57.5 ± 7.1 b
<i>B. subtilis</i>	19.3 ± 4.3 a	73.7 ± 10.3 a
<i>T. harzianum</i>	17.1 ± 3.1 a	70 ± 10.6 a
Testigo	14.3 ± 1.2 a	55 ± 3.7 b

Medias (± EE) con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$; Bonferroni).

Means (± EE) with different letter in a column are statistically different ($P \leq 0.05$; Bonferroni).

T. harzianum, pero igual estadísticamente respecto a las plantas testigo. El rendimiento estuvo en el rango de 1.69 a 1.85 kg planta⁻¹ (Cuadro 6).

Los resultados muestran un efecto de la aplicación de los biofertilizantes en el crecimiento vegetal, en el volumen de biomasa seca de raíz y en el rendimiento de fruto. De todos los biofertilizantes evaluados, *B. subtilis* promovió significativamente la altura de planta, volumen de raíz y también se observó un incremento en el rendimiento de fruto.

Un comportamiento similar fue reportado en chile habanero, donde la inoculación con *B. subtilis* aumentó la capacidad fotosintética y el crecimiento de las plantas (Samaniego-Gómez *et al.*, 2016; Sosa-

Pech *et al.*, 2019). Sobre la compatibilidad entre los microorganismos y las plantas hospederas, Vázquez *et al.* (2000) reportaron que el efecto de la inoculación de agentes microbianos en las plantas depende en gran medida de la compatibilidad fisiológica y bioquímica de la interacción. Siendo un factor muy importante el reconocimiento genético entre los microorganismos y las plantas, dicha relación también puede ser alterada por la presencia de otros microorganismos en la rizósfera y las condiciones ambientales, como temperatura y humedad (Cano, 2011).

Otro aspecto que pudo haber influido fue la disponibilidad de nutrientes en la rizósfera por la aplicación convencional de fertilizantes químicos. Al respecto, se ha documentado ampliamente que las prácticas de fertilización modulan la eficiencia de la interacción entre biofertilizantes microbianos y plantas hospederas y en consecuencia el efecto benéfico de estos organismos benéficos (Sharma y Adholeya, 2004; Malusa *et al.*, 2007).

Composición Bromatológica y Componentes Minerales del Fruto

En los componentes bromatológicos analizados se encontraron diferencias estadísticas en el contenido de lípidos y proteínas (Cuadro 7), el mayor contenido de estos compuestos se obtuvo en los frutos de las plantas inoculadas con *T. harzianum*.

Los contenidos de Na y P en los frutos presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. Los niveles de Na en frutos fueron mayores en plantas fertilizadas con consorcio microbianos y *T. harzianum*, con

Cuadro 6. Efecto de la aplicación de biofertilizantes en el número de fruto, peso y rendimiento de chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.).
Table 6. Effect of the application of biofertilizers on the number of fruit, weight and yield of xcat'ik pepper (*Capsicum annuum* L.).

Tratamiento	Variables de rendimiento		
	No. de frutos	Peso fruto	Rendimiento
	Pieza	g	kg planta ⁻¹
Consortio microbiano	49 ± 1 a	34.42 ± 1.07 a	1.69 ± 0.54 b
<i>B. subtilis</i>	49 ± 3 a	37.41 ± 1.19 a	1.85 ± 0.75 a
<i>T. harzianum</i>	47 ± 2 a	36.65 ± 1.64 a	1.70 ± 0.12 b
Testigo	51 ± 2 a	36.94 ± 1.40 a	1.76 ± 0.97 ab

Medias (± EE) con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$; Bonferroni).

Means (± EE) with different letter in a column are statistically different ($P \leq 0.05$; Bonferroni).

Cuadro 7. Efecto de biofertilizantes microbianos sobre el contenido de la composición bromatológica del fruto de chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.).**Table 7. Effect of microbial biofertilizers on the content of the bromatological composition of the fruit of xcat'ik pepper (*Capsicum annuum* L.).**

Tratamiento	Variables bromatológicas			
	Ceniza	Fibra cruda	Lípidos	Proteína
	----- % -----			
Consortio microbiano	6.90 ± 0.04 a	16.8 ± 0.20 b	3.04 ± 0.03 c	10.20 ± 0.06 ab
<i>B. subtilis</i>	6.63 ± 0.28 a	16.89 ± 0.09 b	3.18 ± 0.13 c	10.09 ± 0.06 b
<i>T. harzianum</i>	7.30 ± 0.01 a	17.76 ± 0.24 a	3.89 ± 0.05 a	10.67 ± 0.18 a
Testigo	6.63 ± 0.25 a	17.31 ± 0.05 ab	3.55 ± 0.02 b	10.02 ± 0.12 b

Medias (± EE) con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$; Bonferroni).Means (± EE) with different letter in a column are statistically different ($P \leq 0.05$; Bonferroni).

respecto al testigo. Así mismo, los niveles de P en frutos fueron mayor en plantas tratadas con *B. subtilis* y *T. harzianum*.

El contenido de K en frutos no fue estadísticamente diferente entre tratamientos, pero tuvo un contenido sobresaliente frente a los demás minerales cuantificados (21 210 y 18 964 mg kg⁻¹) (Cuadro 8). Aunque no hay información disponible acerca del contenido mineral en chile xcat'ik, Chávez-Servia *et al.* (2016) reportaron valores de K para otras variedades de *C. annuum* (chile de agua, nanche, piquín y tabiche) que se encuentran en el intervalo de 3408 a 32 390 mg kg⁻¹.

El mayor contenido de proteína presente en frutos de plantas inoculadas con *T. harzianum* se debió quizá, a que la inoculación mejoró la disponibilidad y movilidad del nitrógeno hacia el fruto (Pylac *et al.*, 2019).

A pesar de que el contenido de cenizas encontrados en este estudio no presentó diferencias estadísticas, los valores encontrados para chile xcat'ik en cualquiera de los tratamientos (Cuadro 7) fueron más elevados comparado con el contenido de cenizas en chile dulce (*Capsicum annuum*) (3.03%) y pimiento (*Capsicum annuum*) (1.62%) estudiados por Ogunlade *et al.* (2012). Esto concuerda con la cantidad elevada de Ca, K y P que se encontró en los frutos de chile xcat'ik, ya que se atribuye al contenido de cenizas la presencia de componentes inorgánicos en el fruto.

Por otra parte, la gran variación que existe intra-tratamientos en la determinación de los macro y micro elementos presentes en fruto, no permitió encontrar diferencias estadísticas en todos los minerales (excepto Na y P), una probable explicación podría ser

Cuadro 8. Efecto de los biofertilizantes sobre el contenido de macro y micro elementos minerales en el chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.).**Table 8. Effect of biofertilizers on the content of macro and micro mineral elements in the xcat'ik pepper (*Capsicum annuum* L.).**

Tratamiento	Macroelementos					Microelementos	
	Ca	K	Na	Mg	P	Fe	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----						
Consortio microbiano	2962±802a	20 670±441a	459±47a	1542±16a	2015±120b	84±7a	11±0.1a
<i>B. subtilis</i>	2380±243a	20 481±908a	289±14bc	1511±53a	2621±41a	86 ±5a	18±2a
<i>T. harzianum</i>	2668±162a	21 210±1440a	378±23ab	1632±62a	2373±157ab	108±6a	19±2a
Testigo	2433±149a	18 964±423a	235±17c	1 53±22a	2018±46b	98±5a	17±3a

Medias (± EE) con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$; Bonferroni).Means (± EE) with different letter in a column are statistically different ($P \leq 0.05$; Bonferroni).

la variación de las condiciones del suelo, como el pH que la zona varía de 7.4 a 8.2, siendo que la absorción de los elementos minerales se reduce en suelos con estos pH ya que estos elementos forman compuestos insolubles en suelos alcalinos o ácidos (Barbieri *et al.*, 2015).

El K en las plantas está relacionado con la acumulación y traslocación de carbohidratos, así como con menores pérdidas de agua, ya que juega un papel clave en la apertura estomática, mantenimiento de la presión de turgencia y equilibrio osmótico (Castillo *et al.*, 2009). No se observó diferencia en los niveles de Ca, pero Belakbir *et al.* (1998) reportaron en frutos de chile (*Capsicum annuum* L.) tratados con biorreguladores valores de Ca en un rango de 2090 a 2390 mg kg⁻¹, los cuales son similares a los de la presente investigación y encontraron que éste mineral representa un rol importante en el mantenimiento de la firmeza del fruto, por lo tanto los requerimientos de Ca del fruto podrían relacionarse con la estabilidad celular, la integridad de la membrana y la acumulación del Mg²⁺ otro macroelemento importante en el fruto y que en el presente estudio no fue diferente estadísticamente entre tratamientos, con valores de 1453.22 y 1631.77 mg kg⁻¹ (Cuadro 8).

Cabe destacar que el valor de P en xcat'ik (2015.18 a 2620.89 mg kg⁻¹) en frutos biofertilizados con *B. subtilis* y *T. harzanium* fue más alto a lo reportado por Ogunlade *et al.* (2012) para chile dulce (1026.5 mg kg⁻¹) y para pimiento (1546.6 mg kg⁻¹). Este resultado es sustentado por lo reportado por Satyaprakash *et al.* (2017) quienes demostraron que algunas especies de *Bacillus* entre ellas *B. subtilis* tienen gran capacidad de solubilizar fosfatos. Aunque este elemento se encuentra en el suelo en forma orgánica e inorgánica, es poco disponible.

En este sentido, se considera de interés realizar estudios más específicos sobre la interacción de los ácidos orgánicos como el acético, glicólico, malónico, oxálico y fórmico con la planta de chile xcat'ik para una mejor comprensión sobre el mecanismo de absorción de los minerales, ya que éstos son promotores de absorción de algunos minerales tales como el Fe, P y Mn (Güneş *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

El uso de biofertilizantes microbianos en el cultivo de chile xcat'ik tuvo efectos diferenciales, las plantas tratadas con *B. subtilis* presentaron el volumen de raíz

más elevado, pero su crecimiento y producción de fruto no fue diferente del testigo. Sin embargo, respecto al contenido de nutrientes en el fruto, el tratamiento que presentó mejores resultados fue *T. harzanium* para el caso del contenido de lípidos y proteína y *B. subtilis* y *T. harzanium* para el contenido de P. El uso de *B. subtilis* podría ser una opción para incrementar la productividad del chile xcat'ik con menor impacto ambiental y además podría mejorar algunos parámetros de valor nutricional en los frutos.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

La presente investigación fue financiada por el Tecnológico Nacional de México a través del proyecto registrado con clave 6494-19-P en la convocatoria 2019.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Jacobo Gamboa Angulo desarrolló la metodología y análisis de muestras. Esaú Ruíz Sánchez y Kati Medina Dzul se encargaron de la conceptualización del estudio, planteamiento de la metodología, investigación, financiamiento, análisis formal de datos, escritura y preparación del borrador. Carlos Alvarado López, Federico Gutiérrez Miceli y Víctor Ruíz Valdiviezo contribuyeron en la escritura, revisión y edición del manuscrito final.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Medina, J. F. y J. A. Espinosa-Moreno. 2016. Crecimiento y rendimiento de *Capsicum annuum* L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 1539-1550.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 2000. Official Methods of Analysis of AOAC, Vol. 1. Ed. William Horwitz. Washington, DC, USA. ISBN13: 9780935584677.
- Barbieri, G., E. Colonna, Y. Roupael, and S. de Pascale. 2015. Effect of the farming system and postharvest frozen storage on quality attributes of two strawberry cultivars. *Fruits* 70: 351-360. doi: <https://doi.org/10.1051/fruits/2015036>.
- Belakbir, A., J. M. Ruiz, and L. Romero. 1998. Yield and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to bioregulators. *HortScience* 33: 85-87. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.33.1.85>.
- Cano, M. A. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Rev. U.D.C.A. Act. Divulg. Cient.* 14: 15-31.
- Castillo, C. G., C. A. Ortiz, F. R. Borie y R. E. Rubio. 2009. Respuesta de Aji (*Capsicum annuum* L.) cv. "Cacho de Cabra" a la inoculación con hongos micorrícicos arbusculares. *Inf. Tecnol.* 20: 3-14. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642009000400002>.
- Cázares-Sánchez, E., P. Ramírez-Vallejo, F. Castillo-González, R. M. Soto-Hernández, M. T. Rodríguez-González y J. L. Chávez-Servia. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39: 627-638.
- Chávez-Servia, J. L., A. M. Vera-Guzmán, J. C. Carrillo-Rodríguez y E. Heredia-García. 2016. Variación en contenido de minerales en frutos de variedades autóctonas de Chile (*Capsicum annuum* L.), cultivadas en invernadero. *Vitae* 23: 48-57. doi: <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v23n1a05>.
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, L. A. González, E. M. Tablada, M. del P. Díaz, C. W. Robledo y M. G. Balzarini. 2007. Estadística para las Ciencias Agropecuarias. Córdoba, Argentina. ISBN: 987-1142-68-4.
- Dursun, A., M. Ekinçi, and M. F. Dönmez. 2010. Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Pak. J. Bot.* 42: 3349-3356.
- González, H. F. y N. Fuentes. 2017. Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Rev. Cienc. Agríc.* 34: 17-31. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173401.60>.
- González-Mancilla, A., J. J. Almaráz-Suárez, R. Ferrera-Cerrato, M. Rodríguez-Guzmán, O. R. Taboada-Gaytan, A. Trinidad-Santos, A. Alarcón y R. Arteaga-Garibay. 2017. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de Chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Int. Contam. Amb.* 33: 463-474. doi: <http://dx.doi.org/10.20937/rica.2017.33.03.09>.
- Güneş, A., M. Turan, M. Güllüce, and F. Sahin. 2014. Nutritional content analysis of plant growth-promoting rhizobacteria species. *Eur. J. Soil Biol.* 60: 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.10.010>.
- Harrington, J. T., J. Mexal, and J. T. Fisher. 1994. Volume displacement provides a quick and accurate way to quantify new root production. *Tree Plant. Notes* 45: 121-124.
- Ibiza, V. P., J. Blanca, J. Cañizares, and F. Nuez. 2012. Taxonomy and genetic diversity of domesticated *Capsicum* species in the Andean region. 2012. *Gen. Resour. Crop Evol.* 59: 1077-1088. doi: <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9744-z>.
- Jiménez-Gómez, A., L. Celador-Lera, M. Fradejas-Bayón, and R. Rivas. 2017. Plant probiotic bacteria enhance the quality of fruit and horticultural crops. *AIMS Microbiol.* 3: 483-501. doi: <https://doi.org/10.3934/microbiol.2017.3.483>.
- Kanchana, D., M. Jayanthi, G. Usharani, P. Saranraj, and D. Sujitha. 2014. Interaction effect of combined inoculation of PGPR on growth and yield parameters of chilli var k1 (*Capsicum annuum* L.). *Int. J. Microbiol. Res.* 5: 144-151. doi: <https://doi.org/10.5829/idosi.ijmr.2014.5.3.81232>.
- Latournerie-Moreno, L., J. L. Chávez-Servia, M. Pérez-Pérez, G. Castañón-Nájera, S. A. Rodríguez-Herrera, L. M. Arias-Reyes y P. Ramírez-Vallejo. 2002. Valoración in situ de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 25-33.
- Leskovar, D. I., D. J. Cantliffe, and P. J. Stoffella. 1990. Root growth and root-shoot interaction in transplants and direct seeded pepper plants. *Environ. Exp. Bot.* 30: 349-354. doi: [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(90\)90047-8](https://doi.org/10.1016/0098-8472(90)90047-8).
- Malusa, E., L. Sas-Paszt, W. Popinska, and E. Zurawicz. 2007. The effect of a substrate containing arbuscular mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms (*Trichoderma*, *Bacillus*, *Pseudomonas* and *Streptomyces*) and foliar fertilization on growth response and rhizosphere pH of three strawberry cultivars. *Int. J. Fruit Sci.* 6: 25-41. https://doi.org/10.1300/J492v06n04_04.
- Nadeem, S. M., M. Naveed, Z. A. Zahir, and H. N. Asghar. 2013. Plant-microbe interactions for sustainable agriculture: fundamentals and recent advances. pp. 51-103. *In*: N. K. Arora N. K. (ed.). *Plant-microbe symbiosis: Fundamentals and advances*. Springer. New Delhi. doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-1287-4_2.
- Ogunlade, I., A. A. Alebiosu, and A. I. Osasona. 2012. Proximate, mineral composition, antioxidant activity, and total phenolic content of some pepper varieties (*Capsicum* species). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6: 2221-2227. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.28>.
- Ordookhani, K., A. Moezi, K. Khavazi, and F. Rejali. 2013. Effect of plant growth promoting rhizobacteria and mycorrhiza on tomato fruit quality. *Acta Hort.* 989: 91-96. doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.989.9>.
- Pylac, M., K. Oszust, and M. Frąc. 2019. Review report on the role of bioproducts, biopreparations, biostimulants and microbial inoculants in organic production of fruit. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 18: 597-616. doi: <https://doi.org/10.1007/s11157-019-09500-5>.
- Samaniego-Gómez, B. Y., R. Garruña, J. M. Tun-Suárez, J. Kantun-Can, A. Reyes-Ramírez, and L. Cervantes-Díaz. 2016. *Bacillus* spp. inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants. *Chilean J. Agric. Res.* 76: 409-416. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392016000400003>.

- Satyaprakash, M., T. Nikitha, E. U. B. Reddi, B. Sadhana, and S. S. Vani. 2017. Phosphorous and phosphate solubilizing bacteria and their role in plant nutrition. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 6: 2133-2144. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.251>.
- Sharma, M. P. and A. Adholeya. 2004. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on the post vitro growth and yield of micropropagated strawberry grown in a sandy loam soil. *Can. J. Bot.* 82: 322-328. doi: <https://doi.org/10.1139/b04-007>.
- Silva, L. R., J. Azevedo, M. J. Pereira, L. Carro, E. Velázquez, A. Peix, P. Valentão, and P. B. Andrade. 2014. Inoculation of the nonlegume *Capsicum annuum* (L.) with *Rhizobium* strains. 1. Effect on bioactive compounds, antioxidant activity, and fruit ripeness. *J. Agric. Food Chem.* 62: 557-564. doi: <https://doi.org/10.1021/jf4046649>.
- Sosa-Pech, M., E. Ruiz-Sánchez, J. M. Tun-Suárez, L. L. Pinzón-López y A. Reyes-Ramírez. 2019. Germinación, crecimiento y producción de glucanasas en *Capsicum chinense* Jacq. inoculadas con *Bacillus* spp. *Ecosist. Recur. Agropec.* 6: 137-143. doi: <http://dx.doi.org/10.19136/era.a6n16.1801>.
- Vazallo, S. N., L. Terrones-Ramírez, L. Toro-Carranza, B. Zárate-García y B. Soriano-Bernilla. 2013. Efecto de la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride* sobre el crecimiento aéreo y radicular de *Capsicum annuum* var. *longum*. *REBIOLEST* 1: 11-21.
- Vázquez, M. M., S. César, R. Azcón, and J. M. Barea. 2000. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. *Appl. Soil Ecol.* 15: 261-272. doi: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00075-5](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00075-5).
- Villegas, W., P. Acereto y M. Vargas. 2006. Análisis ultravioleta-visible, la teoría y la práctica en el ejercicio profesional. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. ISBN: 9706981160, 9789706981165.
- Yildirim, E., H. Karlidag, M. Turan, A. Dursun, and F. Goktepe. 2011. Growth, nutrient uptake, and yield promotion of broccoli by plant growth promoting *rhizobacteria* with Manure. *HortScience* 46: 932-936. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.932>.