

Efecto biofertilizante de *Trichoderma* spp y *Bacillus* spp endófitos de café sobre el cultivo de maíz

Biofertilizing effect of coffee endophytic *Trichoderma* spp and *Bacillus* spp on corn cultivation

Brenda del Rosario Saldaña-Morales¹ , Miguel Ángel Salas-Marina^{1*} , Vidal Hernández-García¹ , Luis Alfredo Rodríguez-Larramendi¹ , Nidia Del Carmen Ríos-De León¹ , Claudio Ríos-Velasco² 

¹Laboratorio de Biofertilizantes y Bioinsecticidas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, sede Villa Corzo. Km. 3.0 Carretera Villa Corzo-Ejido Monterrey. CP. 30520. Villa Corzo, Chiapas, México.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Unidad Cuauhtémoc. Av. Río Conchos S/N, Parque Industrial, CP. 31570. Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

*Autor de correspondencia: miguel.salas@unicach.mx

Nota científica

Recibida: 02 de noviembre 2024

Aceptada: 17 de enero 2026

RESUMEN. *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp., son utilizados como biofertilizantes en la agricultura debido a que son promotores de crecimiento e inductores del sistema de defensa de las plantas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto biofertilizante de combinaciones de especies endófitas de café (*Trichoderma*, *Bacillus*) y fertilización al 50 y 100% de NPK en el cultivo del maíz (*Zea mays*). Las variables que se midieron fueron altura de planta, peso seco de raíces, tallos, hojas y rendimiento. Como resultados se encontró que las especies de *Trichoderma* y *Bacillus* combinado con 50% de fertilización promovieron el crecimiento y aumentaron el rendimiento del grano del cultivo de maíz, superando al testigo absoluto y al tratamiento con 100% de fertilización. La aplicación de *Trichoderma* y *Bacillus* incrementa el rendimiento de maíz y reduce la aplicación de dosis de fertilizantes químicos hasta un 50%.

Palabras clave: Biofertilizante, fertilizantes, biomasa, crecimiento vegetal, rendimiento de grano.

ABSTRACT. *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. are used as biofertilizers in agriculture because they are growth promoters and inducers of the plant defense system. In this work, the biofertilizing effect of combinations of endophytic coffee species (*Trichoderma*, *Bacillus*) and 50 and 100% NPK fertilization in the cultivation of maize (*Zea mays*) was evaluated. The variables that were measured were plant height, dry weight of roots, stems, leaves, and yield. The results showed that the *Trichoderma* and *Bacillus* species combined with 50% fertilization promoted growth and increased grain yield in the corn crop, outperforming the absolute control and the 100% fertilization treatment. The application of *Trichoderma* and *Bacillus* increases corn yield and reduces the application of chemical fertilizer doses by up to 50%.

Keywords: Biofertilizer, fertilizer, biomass, plant growth, grain yield.

Como citar: Saldaña-Morales B del R, Salas-Marina MA, Hernández-García V, Rodríguez-Larramendi LA, Ríos-De León N Del C, Ríos-Velasco C (2026) Efecto biofertilizante de *Trichoderma* spp y *Bacillus* spp endófitos de café sobre el cultivo de maíz. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(1): e4404. DOI: 10.19136/era.a13n1.4404.

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el principal componente de la alimentación de la población; aunado a su valor nutricional, destaca su importancia histórica, cultural y económica (Cázares *et al.* 2015). Sin embargo, este cultivo demanda grandes cantidades de fertilizantes, principalmente nitrógeno y pesticidas químicos para el control de plagas y enfermedades; y con ello obtener altos rendimientos para satisfacer la demanda alimentaria de los mexicanos y de la población a nivel mundial (López-Valenzuela *et al.* 2019, SADER 2020). Si bien, el uso indiscriminado de agroquímicos ha generado diversos problemas en el medio ambiente; como la degradación de los suelos, alterando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, debido a que la mayoría son altamente tóxicos; también, han alterado las comunidades microbianas del suelo limitando su productividad, además de la resistencia generada por parte de patógenos y su incremento en los costos de producción (Prashar y Shah 2016).

En este sentido, los productos biológicos o biofertilizantes a base de microorganismos son una alternativa de producción amigable con el medio ambiente y pueden mitigar o coadyuvar los impactos negativos provocados por los agroquímicos, debido a sus diferentes mecanismos de acción tales como antagonismo, micoparasitismo, antibiosis contra patógenos: además de promover el crecimiento e inducir el sistema de defensa de las plantas (De-los-Santos *et al.* 2018). Entre los elementos más valiosos en la producción de estos biofertilizantes están los microorganismos endófitos aislados de ambientes diversos, con la habilidad potencial de estimular el crecimiento de las plantas (Baron y Rigobelo 2021). Por su parte, los hongos del género *Trichoderma* spp., y bacterias del género *Bacillus* spp., favorecen el desarrollo radicular, la fijación de nitrógeno atmosférico, solubilizan el fósforo del suelo, producen ácidos orgánicos y metabolitos secundarios que actúan análogamente a las fitohormonas, por lo que influyen directamente en la disponibilidad de nutrientes y en la estimulación del crecimiento vegetal (Longoria-Espinoza *et al.* 2024). Se ha reportado que *Trichoderma* es capaz de mejorar la arquitectura radicular, favorece la elongación del tallo, incrementa la biomasa del follaje y estimula la germinación de las semillas de maíz. También, es una alternativa para la formulación de inoculantes y el desarrollo de biofertilizantes, ya que induce cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que ayudan a las plantas a adaptarse a condiciones ambientales limitantes (Caravantes-Pérez *et al.* 2025). Sobre lo mismo, Rivero-Herrada *et al.* (2024) reportaron que el empleo de productos biológicos a base de *Azotobacter chroococcum* y *Paenibacillus polymyxa* mostraron potencial para incrementar el nitrógeno en las plantas, contribuyendo al crecimiento, diámetro e inserción de la mazorca en maíz. En este sentido, es fundamental avanzar hacia una agricultura más sustentable y eficiente, por lo que la investigación sobre microorganismos nativos para su aplicación como biofertilizantes tienen el potencial de reducir el uso de fertilizantes sintéticos, disminuyendo así el impacto ambiental asociado a su producción y aplicación, por lo que la identificación y optimización de estas especies puede mejorar la calidad del suelo, promover la biodiversidad microbiana y contribuir a la resiliencia de los sistemas agrícolas ante el cambio climático, es así que continuar con estos estudios permitirá un uso más racional y adaptado de los recursos biológicos locales, favoreciendo una agricultura sostenible que potencie tanto la productividad como la salud del ecosistema (Cruz-Cárdenas *et al.* 2021). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto biofertilizante de especies endófitas de café *Trichoderma* y *Bacillus* en el cultivo del maíz (*Zea mays*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Campo experimental

El ensayo se llevó a cabo en un suelo franco-arcilloso con materia orgánica de 2.14%, fertilidad media, pH 5.6 moderadamente ácido, en el campo experimental de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), Villa Corzo, Chiapas, con fecha de siembra 07 de julio, durante el ciclo primavera-verano del 2022 (latitud N 16° 09' 49", longitud O -93° 16' 29", 580 msnm).

Experimento en campo

Los microorganismos utilizados fueron *Trichoderma longibrachiatum* (C1Ca), *T. asperellum* (C3Moa), *T. hamatum* (C10AOa), *T. reesei* (C11M), *Bacillus amyloliquefaciens* (B49) y *Bacillus subtilis* (B17) donados por el Laboratorio de Biofertilizantes y Bioinsecticidas de la UNICACH, Sede Villa Corzo, endófitos aislados de raíces de café cultivadas bajo sistemas agroforestales. Las cepas de *Trichoderma* fueron esporuladas en PDA y *Bacillus* crecidas en LB, ambos géneros fueron cosechados y cuantificados en una cámara Neubauer (Isolab) y un microscopio Axiolab (Carl Zeiss), las concentraciones de inoculación se ajustaron a 50 mL de 1×10^6 esporas/ml para *Trichoderma* y 1×10^8 UFC mL⁻¹ para *Bacillus*.

Las semillas de maíz (Pioneer 4039) fueron inoculadas al momento de la siembra por inmersión durante 60 min y sembradas en una superficie de 29 m × 31 m a una distancia entre surcos 60 cm y distancia entre plantas 25 cm divididas en subpacerlas de 3 m × 3 m para cada tratamiento; se realizaron dos inoculaciones más, aplicando a la base tallo de cada planta 10 mL de solución de microorganismos a concentraciones de 1×10^6 esporas mL⁻¹ para *Trichoderma* y 1×10^8 UFC mL⁻¹ para *Bacillus*, tres días antes de cada fertilización a los 15 y 30 días después de la siembra. Se utilizó un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. El cultivo fue fertilizado con la fórmula 142 N- 50 P- 110 K kg ha⁻¹ (100% de fertilización química (FQ)) y con 71 N- 25 P- 55 K kg ha⁻¹ (50% FQ) con base a un análisis de suelo previo a la siembra; se utilizaron los siguientes tratamientos: Testigo absoluto (1), 100 % FQ (2), *T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. amyloliquefaciens* (B49) +100% FQ (3), *T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ (4), *T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. subtilis* (B17) + 100% FQ (5), *T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. subtilis* (B17) + 50% FQ (6), *T. asperellum* (C3Moa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) +100% FQ (7), *T. asperellum* (C3Moa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ (8), *T. asperellum* (C3Moa) + *B. subtilis* (B17) + 100% FQ (9), *T. asperellum* (C3Moa) + *B. subtilis* (B17) + 50% FQ (10), *T. hamatum* (C10AOa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) +100% FQ (11), *T. hamatum* (C10AOa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ (12), *T. hamatum* (C10AOa) + *B. subtilis* (B17) + 100% FQ (13), *T. hamatum* (C10AOa) + *B. subtilis* (B17) + 50% FQ (14), *T. reesei* (C11M) + *B. amyloliquefaciens* (B49) +100% FQ (15), *T. reesei* (C11M) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50 % FQ (16), *T. reesei* (C11M) + *B. subtilis* (B17) + 100 % FQ (17), y *T. reesei* (C11M) + *B. subtilis* (B17) + 50 % FQ (18). Correspondiendo FQ fertilización química 100% a 142 N – 50 P – 110 K kg ha⁻¹ y FQ Fertilización química 50% (71 N- 25 P- 55 K kg ha⁻¹).

Las variables que se midieron fueron altura de planta, considerando la base del tallo hasta la espiga (cm), peso seco de raíces, tallos y hojas (g). Para el rendimiento de grano se realizó en la fase final del cultivo siguiendo la metodología propuesta por CIMMYT (2012); donde se registró el rendimiento de grano (t ha⁻¹) y el peso de mil granos (g), el rendimiento del grano se ajustó al 12%

de nivel de humedad con un determinador (Motomco 919) con un peso de muestra de 250 g. Las mediciones se realizaron en la etapa vegetativa, 40 días después de la siembra (dds) y reproductiva R6 (120 dds) del cultivo de maíz, mediante un análisis destructivo en el que se midieron ocho plantas por tratamiento. Las variables evaluadas de peso seco total fueron secados en una estufa de aire forzado (Thermoscientific Heratherm-OGS60) durante 72 horas a una temperatura constante de 70 °C y pesadas en una balanza analítica (Velab VE-204) con una precisión de 0.01 g. Los datos obtenidos se analizaron usando Minitab Statistical Software versión 19, para el análisis de varianza (ANOVA) y las medias fueron clasificadas con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la etapa vegetativa mostraron que en la variable altura de planta de maíz la mayoría de los tratamientos presentaron mayor altura con valores entre 106 a 133 cm, con respecto al testigo absoluto 96 cm (Tabla 1); sin embargo, el tratamiento T12 (*Trichoderma hamatum* (C10AOa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ) presentó el valor más alto con una media de 133 cm comparado con el testigo absoluto 96 cm y el T2 100 % FQ, 116 cm (Tabla 2). Para la variable peso seco de raíces, los tratamientos T7 (*T. asperellum* (C3Moa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 100% FQ), T5 (*T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. subtilis* (B17) + 100% FQ), T6 (*T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. subtilis* (B17) + 50% FQ), T4 (*T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ) y T12 (*Trichoderma hamatum* (C10AOa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ) presentaron los valores de media mas altos de 12, 10, 8, 7 y 9 g respectivamente, siendo estadísticamente igual al T2 (100% de FQ) pero superiores al testigo absoluto 5 g (Tabla 1). En la variable peso seco de tallos en la etapa vegetativa no se presentaron diferencias significativas entre el testigo absoluto y los tratamientos (Tabla 2). En la variable peso seco de hojas se encontró diferencias significativas entre tratamientos con respecto al testigo absoluto, los tratamientos que presentaron mejores resultados fueron T12 (*T. hamatum* (C10AOa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ), T16 (*T. reesei* (C11M) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ) con una media de 41 g y 35 g, respectivamente, siendo estadísticamente iguales al T2 (100% FQ) con un valor de 34 g, mientras que el testigo absoluto tuvo una media de 26 g (Tabla 1).

Los resultados encontrados en esta investigación son de gran transcendencia y determinantes en el cultivo de maíz, demostrando que la utilización de microorganismos endófitos de café, *Trichoderma* combinado con *Bacillus* tiene el potencial biofertilizante, promoviendo el crecimiento vegetal, disminuyendo hasta un 50% la aplicación de NPK. En este sentido se ha reportado que la interacción de las plantas con hongos endófitos mejora la absorción de macronutrientes (fósforo, nitrógeno, potasio y magnesio) y micronutrientes, (zinc, hierro y cobre) del suelo y la materia orgánica (Rana *et al.* 2020), aumentando la producción de biomasa, expansión del sistema radicular, altura de las plantas, el peso, la reproducción y el rendimiento (Bamisile *et al.* 2018). Asimismo, se ha reportado que la aplicación de *Trichoderma asperellum* en el cultivo de cebolla puede reducir la fertilización química hasta en 50% (Ortega-García *et al.* 2015) y la aplicación de *Bacillus circulans* y *Azotobacter chroococcum* promueven el crecimiento y mejoran el rendimiento del cultivo de maíz, reduciendo hasta un 50% la aplicación de NPK (Gao *et al.* 2020).

Tabla 1. Efecto de *Trichoderma* spp y *Bacillus* spp., sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz (40 días después de la siembra).

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Peso seco de raíz (g)	Peso seco de tallo (g)	Peso seco hojas (g)
1. Testigo absoluto	96 ± 3.4 ^f	5 ± 0.1 ^{cde}	23 ± 0.03 ^{ab}	26 ± 0.01 ^b
2. 100% FQ	116 ± 4.3 ^{bcde}	8 ± 0.1 ^{abcde}	26 ± 0.04 ^{ab}	34 ± 0.04 ^{ab}
3. (<i>T. longibrachiatum</i> (C1Ca) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 100% FQ)	124 ± 2.8 ^{ab}	6 ± 0.8 ^{bcde}	26 ± 0.05 ^{ab}	30 ± 0.03 ^{ab}
4. (<i>T. longibrachiatum</i> (C1Ca) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 50% FQ)	108 ± 5.7 ^{def}	7 ± 0.2 ^{abcde}	25 ± 0.02 ^{ab}	26 ± 0.08 ^b
5. (<i>T. longibrachiatum</i> (C1Ca) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 100% FQ)	119 ± 5.8 ^{bcde}	10 ± 0.2 ^{ab}	29 ± 0.03 ^{ab}	32 ± 0.03 ^{ab}
6. (<i>T. longibrachiatum</i> (C1Ca) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 50% FQ)	112 ± 6.6 ^{bcde}	8 ± 0.2 ^{abcd}	25 ± 0.02 ^{ab}	29 ± 0.05 ^{ab}
7. <i>T. asperellum</i> (C3Moa) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 100% FQ)	122 ± 7.9 ^{abcd}	12 ± 0.2 ^a	29 ± 0.03 ^{ab}	33 ± 0.06 ^{ab}
8. <i>T. asperellum</i> (C3Moa) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 50% FQ)	107 ± 4.1 ^{ef}	3 ± 0.1 ^e	23 ± 0.2 ^{ab}	27 ± 0.08 ^b
9. <i>T. asperellum</i> (C3Moa) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 100% FQ)	108 ± 9.8 ^{def}	6 ± 0.1 ^{bcde}	22 ± 0.05 ^b	24 ± 0.07 ^b
10. <i>T. asperellum</i> (C3Moa) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 50% FQ)	111 ± 5.2 ^{bcde}	7 ± 0.1 ^{abcde}	26 ± 0.02 ^{ab}	31 ± 0.01 ^{ab}
11. <i>T. hamatum</i> (C10AOa) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 100% FQ)	113 ± 10.07 ^{bcde}	7 ± 0.2 ^{bcde}	27 ± 0.03 ^{ab}	28 ± 0.010 ^{ab}
12. <i>T. hamatum</i> (C10AOa) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 50% FQ)	133 ± 5.1 ^a	9 ± 0.2 ^{abc}	29 ± 0.01 ^{ab}	41 ± 0.03 ^a
13. <i>T. hamatum</i> (C10AOa) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 100% FQ)	110 ± 6.3 ^{cde}	4 ± 0.2 ^{de}	25 ± 0.02 ^{ab}	29 ± 0.010 ^{ab}
14. <i>T. hamatum</i> (C10AOa) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 50% FQ)	109 ± 10.3 ^{def}	5 ± 0.1 ^{cde}	25 ± 0.03 ^{ab}	31 ± 0.07 ^{ab}
15. <i>T. reesei</i> (C11M) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 100% FQ)	114 ± 2.06 ^{bcde}	5 ± 0.3 ^{cde}	30 ± 0.04 ^a	31 ± 0.03 ^{ab}
16. <i>T. reesei</i> (C11M) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 50% FQ)	123 ± 5.3 ^{abc}	6 ± 0.3 ^{bcde}	28 ± 0.02 ^{ab}	35 ± 0.03 ^{ab}
17. <i>T. reesei</i> (C11M) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 100% FQ)	119 ± 8.5 ^{bcde}	6 ± 0.4 ^{bcde}	25 ± 0.2 ^{ab}	31 ± 0.06 ^{ab}
18. <i>T. reesei</i> (C11M) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 50% FQ)	106 ± 4.7 ^{ef}	3 ± 0.1 ^{de}	25 ± 0.03 ^{ab}	30 ± 0.02 ^{ab}

*Medias con misma letra dentro de la misma columna son significativamente iguales, según la prueba de Tukey (p ≤ 0.05).

En los resultados de la etapa reproductiva (Tabla 2), se encontró que en la variable altura de planta de maíz, la mayoría de los tratamientos a base de *Trichoderma* y *Bacillus* incluyendo los de 50% FQ presentaron diferencia significativa con respecto al testigo absoluto y fueron estadísticamente iguales al T2 (100% FQ). Sin embargo, el tratamiento T12 (*Trichoderma hamatum* (C10AOa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ) presentó el valor más alto con una media de 242 cm comparado con el testigo absoluto y el T2 (100% FQ) que exhibieron valores de 185 y 227 cm respectivamente (Tabla 3). En la variable peso seco de raíz, se registró que los tratamientos T6 (*T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. subtilis* (B17) + 50% FQ), T11 (*T. hamatum* (C10AOa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 100% FQ) y T13 (*T. hamatum* (C10AOa) + *B. subtilis* (B17) + 100% FQ) presentaron los mayores valores de 85, 88, 81 g comparado con el testigo absoluto y el T2 (100% FQ) que presentaron valores de 60 y 61 g, respectivamente (Tabla 2).

En la variable peso seco de tallos, se observó que el testigo absoluto presentó una media de 88 g, superado por 14 de los tratamientos evaluados; donde T4 (*T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ), T9 (*T. asperellum* (C3Moa) + *B. subtilis* (B17) + 100% FQ), T12 (*T. hamatum* (C10AOa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ) y T17 (*T. reesei* (C11M) + *B. subtilis* (B17) + 100% FQ) presentaron los valores más altos 123, 125 y 124 g respectivamente, comparado con el

T2 (100% FQ) que presento una media de 119 g (Tabla 2). Para la variable peso seco de hojas no se presentaron diferencias significativas entre el testigo absoluto y los tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de *Trichoderma* spp y *Bacillus* spp., sobre el crecimiento vegetativo en la fase reproductiva 120 dds y rendimiento del grano del cultivo de maíz.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Peso seco de raíz (g)	Peso seco de tallo (g)	Peso seco de hojas (g)	t ha ⁻¹
1. Testigo absoluto	185 ± 3.4 ^e	60 ± 2 ^g	88 ± 2.0 ^f	56 ± 0.1 ^{ab}	6.3 ± 0.1 ^f
2. 100% FQ	227 ± 10.5 ^{abc}	61 ± 1.0 ^{fg}	119 ± 1 ^{ab}	58 ± 1.2 ^{ab}	7.7 ± 0.4 ^{bc}
3. (<i>T. longibrachiatum</i> (C1Ca) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 100% FQ)	233 ± 7.4 ^{abc}	74 ± 2.0 ^{bcd}	115 ± 2 ^{bc}	56 ± 1.2 ^{ab}	7.8 ± 0.1 ^b
4. (<i>T. longibrachiatum</i> (C1Ca) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 50% FQ)	221 ± 4.8 ^{abcd}	76 ± 3 ^{bc}	123 ± 2 ^a	60 ± 0.4 ^a	7.6 ± 2 ^c
5. (<i>T. longibrachiatum</i> (C1Ca) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 100% FQ)	217 ± 8.4 ^{bcd}	59 ± 4 ^g	109 ± 2 ^{cde}	55 ± 3.2 ^{ab}	7.6 ± 2 ^c
6. (<i>T. longibrachiatum</i> (C1Ca) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 50% FQ)	229 ± 7.9 ^{abc}	85 ± 3 ^a	112 ± 2 ^{bcd}	58 ± 2.2 ^{ab}	7.7 ± 0.4 ^{bc}
7. <i>T. asperellum</i> (C3Moa) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 100% FQ)	216 ± 8.5 ^{bcd}	34 ± 4 ⁱ	111 ± 1 ^{cd}	60 ± 1.8 ^a	7.7 ± 0.4 ^{bc}
8. <i>T. asperellum</i> (C3Moa) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 50% FQ)	211 ± 12 ^{cd}	68 ± 3 ^{def}	79 ± 4 ^{gh}	52 ± 1.2 ^{ab}	7.2 ± 3 ^d
9. <i>T. asperellum</i> (C3Moa) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 100% FQ)	222 ± 8.2 ^{abcd}	49 ± 2 ^h	125 ± 3 ^a	58 ± 2.1 ^{ab}	7.5 ± 4 ^{cd}
10. <i>T. asperellum</i> (C3Moa) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 50% FQ)	219 ± 5.6 ^{bcd}	40 ± 2 ⁱ	86 ± 1 ^{fg}	47 ± 2.4 ^{ab}	7.7 ± 0.4 ^{bc}
11. <i>T. hamatum</i> (C10AOa) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 100% FQ)	216 ± 4.5 ^{bcd}	88 ± 2 ^a	108 ± 2 ^{cde}	59 ± 1.1 ^{ab}	7.7 ± 0.4 ^{bc}
12. <i>T. hamatum</i> (C10AOa) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 50% FQ)	242 ± 6.4 ^a	66 ± 1.0 ^{efg}	125 ± 3 ^a	58 ± 1.2 ^{ab}	8.1 ± 1 ^a
13. <i>T. hamatum</i> (C10AOa) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 100% FQ)	220 ± 6.4 ^{abcd}	81 ± 1.0 ^{ab}	106 ± 1 ^{de}	54 ± 1.6 ^{ab}	7.2 ± 2.1 ^d
14. <i>T. hamatum</i> (C10AOa) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 50% FQ)	219 ± 8.4 ^{abcd}	49 ± 2 ^h	110 ± 2 ^{cd}	63 ± 1.8 ^a	7.1 ± 3.1 ^{de}
15. <i>T. reesei</i> (C11M) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 100% FQ)	219 ± 6.2 ^{bcd}	66 ± 1 ^{efg}	102 ± 2 ^e	62 ± 1.4 ^a	7.6 ± 3 ^c
16. <i>T. reesei</i> (C11M) + <i>B. amyloliquefaciens</i> (B49) + 50% FQ)	225 ± 2.7 ^{abcd}	76 ± 3 ^{bc}	112 ± 2 ^{bcd}	57 ± 2.2 ^{ab}	7.5 ± 4 ^{cd}
17. <i>T. reesei</i> (C11M) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 100% FQ)	234 ± 17 ^{ab}	72 ± 2 ^{cde}	124 ± 4 ^a	58 ± 2.6 ^{ab}	7.9 ± 1.2 ^{ab}
18. <i>T. reesei</i> (C11M) + <i>B. subtilis</i> (B17) + 50% FQ)	203 ± 14 ^{de}	50 ± 1 ^h	76 ± 3 ^h	40 ± 3.1 ^b	6.6 ± 4.1 ^e

*Medias con misma letra dentro de la misma columna son significativamente iguales, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En la variable rendimiento del grano se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, donde el T12 (*T. hamatum* (C10AOa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 50% FQ) presentó el rendimiento más alto de 8.1 t ha⁻¹, comparado con el testigo absoluto y el T2 (100% FQ), que presentaron 5.3 y 7.7 t ha⁻¹, respectivamente. Además, es importante resaltar que otros tratamientos con 100 % de fertilización; T5 (*T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. subtilis* (B17) + 100% FQ), T11 *T. hamatum* (C10AOa) + *B. amyloliquefaciens* (B49) + 100% FQ) y T17 *T. reesei* (C11M) + *B. subtilis* (B17) + 100% FQ) y con 50% de FQ; T6 (*T. longibrachiatum* (C1Ca) + *B. subtilis* (B17) + 50% FQ) y T10 (*T. asperellum* (C3Moa) + *B. subtilis* (B17) + 50% FQ) fueron estadísticamente iguales al tratamiento dos (100% FQ).

En este sentido se ha reportado que el aumento del peso seco en las plantas de maíz por la combinación de microorganismos se debe a una absorción equilibrada de nutrientes, lo que conduce a una mayor división y agrandamiento de las células, lo que genera el crecimiento en las plantas (Mtaita *et al.* 2019). También se ha demostrado que la aplicación de *Trichoderma* y *Bacillus* combinado con polvo de roca, aumentaron el peso seco del maíz disminuyendo hasta un 50% de fertilización química (Silva *et al.* 2023). Así también, la aplicación de *Trichoderma* y sustancias húmicas en el cultivo de maíz aumentaron la biomasa total seca con respecto al control, de un 16 a 32% (Kurniawan 2017). Y la aplicación *Trichoderma viride* y *Pseudomonas fluorescens* aumentan la biomasa y el rendimiento del grano en un 15% utilizando un 50% de fertilización química NPK (Nepalí *et al.* 2020).

Por lo que los microorganismos endófitos favorecen el crecimiento de las plantas, al producir ácido indolacético, solubilizan fosfatos, así también, tienen la capacidad de producir sideróforos (García-Latorre *et al.* 2023, Longoria-Espinoza *et al.* 2024) y para el caso específico del cultivo de maíz, la aplicación de microorganismos endófitos de raíces de café como hongos del género *Trichoderma* y bacterias del género *Bacillus*, reducen la aplicación de fertilizantes químicos hasta en un 50%, promueven el crecimiento vegetal, aumentan el rendimiento del cultivo y posiblemente contribuyen en la disminución de contaminación ambiental.

Las aplicaciones de cepas endófitas de raíces de café de *Trichoderma* y *Bacillus* pueden ser integradas en el paquete tecnológico del cultivo de maíz, ya que incrementan el rendimiento grano y disminuyen la dosis de fertilizantes NPK hasta en un 50%.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Bamisile BS, Dash CK, Akutse KS, Keppanan R, Wang LD (2018) Fungal endophytes: beyond herbivore management. *Frontiers in Microbiology* 9: 544. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00544>
- Baron, NC, Rigobelo EC (2021) Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. *Mycology* 13(1): 39-55. <https://doi.org/10.1080/21501203.2021.1945699>
- Caravantes-Pérez A, Castañeda-Hidalgo E, Martínez-Gallegos V, Robles C, Martínez-Bolaños M, Rosas-Quijano R, Lozano-Trejo S (2025) Especies de *Trichoderma* de suelo rizosférico y tejidos de *A. potatorum*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 12(3): e4270. <https://doi.org/10.19136/era.a12n3.4270>
- Cázares E, Chávez JY, Salinas F, Castillo, Ramírez P (2015) Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia* 49: 15-30.
- CIMMYT (2012) Manual de determinación del rendimiento. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. 7p.
- Cruz-Cárdenas CI, Zelaya-Molina LX, Sandoval-Cancino G, de los Santos-Villalobos S, Rojas-Anaya E, Chávez-Díaz IF, Ramírez SR (2021) Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible

- en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12(5): 899-913. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905>
- De-los-Santos VS, Parra-Cota FI, Herrera-Sepúlveda A, Valenzuela-Aragón B, Estrada-Mora JC (2018) Colmena: colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos, para contribuir a la seguridad alimentaria nacional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(1): 191-202. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.858>
- Gao C, El-Sawah AM, Alí DFI, Alhaj Hamoud Y, Shaghaleh, Sheteiwy MS (2020) The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). *Agronomy* 10: 319. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030319>
- García-Latorre C, Rodrigo S, Marin-Felix Y, Stadler MB, Santamaría O (2023) Plant-growth promoting activity of three fungal endophytes isolated from plants living in dehesas and their effect on *Lolium multiflorum*. *Scientific Reports* 13: 7354. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34036-8>
- Kurniawan REK (2017) The effect of formulation humic substance and *Trichoderma* sp. to increase production and growth of corn (*Zea Mays* L.). *Sains Tanah Journal of Soil Science and Agroclimatology* 14(1): 36-41. <http://dx.doi.org/10.15608/stjssa.v14i1.694>
- Longoria-Espinoza RM, Félix-Gastélum R, Zamudio-Aguilasocho GM (2024) Endófitos bacterianos con potencial antagonico y promoción de crecimiento vegetal en maíz blanco (*Zea mays* L.). *Terra Latinoamericana* 42: 1-10. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i.1918>
- López-Valenzuela B (2019) *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. as growth promoters in maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Experimental Botany* 88(1): 37-46. <https://doi.org/10.32604/phyton.2019.04621>
- Mtaita TA, Nyaera K, Mutetwa M, Masaka T (2019) Effect of biofertilizer with varying levels of mineral fertilizer on maize (*Zea Mays*. L) growth. *Galore International Journal of Applied Sciences and Humanities* 3: 1-9.
- Nepalí B, Subedi S, Bhattarai S, Marahatta S, Bhandari D, and Shrestha J (2020) Biofertilizer activity of *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* as growth and yield promoter for maize. *Journal of agricultural science* 31(2): 191-195. <https://doi.org/10.15159/JAS.20.17>
- Ortega-García JG, Montes-Belmont R, Rodríguez-Monroy M, Ramírez-Trujillo JA, Suarez-Rodriguez R, Sepulveda-Jimenez G (2015) Effect of *Trichoderma asperellum* applications and mineral fertilization on growth promotion and the content of phenolic compounds and avonoids in onions. *Scientia Horticulturae* 195: 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.027>
- Prashar P, Shah S (2016) Impact of fertilizers and pesticides on soil microflora in agriculture. In: Lichtfouse E (ed) *Sustainable agriculture reviews: Volume 19*. Springer International Publishing Cham. pp. 331-361. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_8
- Rana KL, Kour D, Kaur T, Devi R, Yadav AN, Yadav N, Dhaliwal HS, Saxena AK (2020) Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability. *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology* 113(8): 1075-1107. <https://doi.org/10.1007/s10482-020-01429-y>
- Rivero-Herrada M, Quimi-Villanueva DJ, Marín-Cuevas CV, Vélez-Ruiz MC (2024) Efecto de la aplicación de microorganismos fijadores de nitrógeno en el desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia y Tecnología* 17(1): 10-15. <https://doi.org/10.18779/cyt.v17i1.721>
- SADER (2020) Maíz mexicano, un alimento con mucho valor. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-mexicano-un-alimento-con-mucho-valor?idiom=es>. Fecha de consulta: 13 de febrero de 2022.
- Silva PHV, Souza AGV, de Araujo LD, Frezarín ET, de Souza GVL, da Silveira CM, Rigobelo EC (2023) *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis* in Association with Rock Powder for the Initial Development of Maize Plants. *Agronomy* 13: 872. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030872>