

<https://doi.org/10.69639/arandu.v13i1.1927>

Efecto del bio-tratamiento de semillas con *Trichoderma* spp. en la sanidad vegetal y el rendimiento de grano y forraje en dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.) - Vinces, Los Ríos

Effect of seed bio-treatment with Trichoderma spp. on plant health and grain and forage yield in two maize hybrids (Zea mays L.) - Vinces, Los Ríos

Sandro Daniel Triana Fernández

sandro triana@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-6824-2236>

Universidad Técnica de Babahoyo
Ecuador

Carlos Alberto Noboa Franco

carlos19charly@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-2170-8913>

Universidad Técnica de Babahoyo
Ecuador

Juan Carlos Gómez Villalva

jgomez@utb.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3310-3722>

Facultad de Ciencias Agropecuarias de la
Universidad Técnica de Babahoyo
Ecuador

Artículo recibido: 10 diciembre 2025 -Aceptado para publicación: 18 enero 2026

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

Se evaluó el efecto del bio-tratamiento de semillas con *Trichoderma* spp. sobre el establecimiento, la sanidad vegetal y el rendimiento de dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.) (DEKALB 7088 y ADVANTA 9139) en Vinces, Los Ríos, Ecuador, durante el primer semestre de 2025. Se empleó un diseño factorial 2×2×3 en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, considerando híbrido, tratamiento químico de semilla (con y sin) y bio-tratamiento (Inmortal, TrichoD y sin inoculación). La inoculación con *Trichoderma* spp. mejoró significativamente el establecimiento: el porcentaje de germinación fue 92.3% con Inmortal y 90.4% con TrichoD, superiores al testigo sin inoculación (84.0%). Asimismo, se observó mayor vigor inicial, reflejado en una mayor altura de planta a los 10 días después de la siembra (27.4 cm con Inmortal; 25.3 cm con TrichoD; 22.5 cm sin inoculación). En general, los tratamientos inoculados mostraron mejor desempeño agronómico y sanitario, con reducción de enfermedades asociadas a *Fusarium* spp. y mejoras en los componentes de rendimiento en comparación con el control. Se concluye que el bio-tratamiento de semillas con *Trichoderma* spp. constituye una alternativa viable para fortalecer el

establecimiento del cultivo y disminuir el riesgo de enfermedades, contribuyendo a sistemas de producción de maíz más sostenibles.

Palabras clave: *Trichoderma spp.*, maíz, bio-tratamiento, rendimiento, sanidad vegetal

ABSTRACT

This study evaluated the effect of seed bio-treatment with *Trichoderma spp.* on crop establishment, plant health, and yield of two maize hybrids (*Zea mays* L.) (DEKALB 7088 and ADVANTA 9139) in Vinces, Los Ríos, Ecuador, during the first semester of 2025. A 2×2×3 factorial experiment was arranged in a randomized complete block design with four replications, considering hybrid, chemical seed treatment (with and without), and bio-treatment (Inmortal, TrichoD, and a non-inoculated control). *Trichoderma* inoculation significantly improved stand establishment: germination was 92.3% with Inmortal and 90.4% with TrichoD, higher than the non-inoculated control (84.0%). Early vigor was also enhanced, as reflected by greater plant height at 10 days after sowing (27.4 cm with Inmortal; 25.3 cm with TrichoD; 22.5 cm without inoculation). Overall, inoculated treatments showed better agronomic and sanitary performance, including reduced *Fusarium spp.*-associated disease and improvements in yield-related components compared with the control. These findings indicate that seed bio-treatment with *Trichoderma spp.* is a feasible alternative to strengthen crop establishment and reduce disease risk, contributing to more sustainable maize production systems.

Keywords: *Trichoderma spp.*, maize, bio-treatment, yield, plant health

INTRODUCCIÓN

Uno de los cultivos más antiguos y adaptables del mundo es el maíz (*Zea mays* L.); tiene numerosos usos en la nutrición humana y animal, así como en la producción de biocombustibles. Su importancia radica en que ocupa una de las mayores superficies agrícolas a nivel mundial, superando a cereales como el trigo y el arroz (Springer y Müller, 2022).

La investigación agronómica se ha centrado hacia prácticas que mejoren la productividad del cultivo mediante el manejo nutricional y fisiológico. En Ecuador, la producción nacional de maíz no cubre totalmente la demanda interna, lo que hace necesaria la importación de volúmenes significativos del grano (Vera et al., 2020).

El cultivo de maíz constituye una fuente esencial de energía y nutrientes, aunque en la región costera se enfrenta a condiciones ambientales variables que afectan su rendimiento, como la humedad, la temperatura y la radiación solar (Gómez et al., 2021).

Ecuador es un productor pequeño en comparación con Estados Unidos, Brasil y México, el maíz ecuatoriano es de alto valor nutritivo, sabor y textura (Carrasco et al., 2023). La mayor parte de la producción se ubica en las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas, que concentran el 84,4 % de la superficie total cosechada de maíz amarillo; el resto se distribuye en otras provincias del país (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2023).

Las características agronómicas de las plantas han mejorado gracias a la generación de híbridos de maíz mediante cruces dirigidos entre líneas endogámicas, estos híbridos son más resistentes a las plagas y al estrés abiótico; también son más vigorosos y productivos (González et al., 2021).

En Ecuador, los rendimientos del cultivo de maíz son frecuentemente más bajos de lo esperado en comparación con el potencial genético de los híbridos debido a factores como la fertilidad del suelo, el manejo agronómico inadecuado y las variaciones climáticas que afectan negativamente la productividad (MAG, 2024).

En Ecuador, se desarrollan dos métodos de producción de maíz: el forrajero y el de grano. El sistema forrajero tiene como objetivo producir biomasa de buena calidad para la alimentación animal, que crezca de forma rápida y tenga un contenido alto de materia seca y proteínas, lo cual es esencial en las zonas con ganadería intensiva (Gutiérrez & Ríos, 2022).

El sistema de producción de maíz busca maximizar la productividad y la tolerancia a enfermedades, ya que las infecciones fúngicas y otras plagas representan uno de los principales factores bióticos que reducen de manera significativa tanto el rendimiento como la calidad del grano (Pfordt y Paulus, 2024).

Los microorganismos del género *Trichoderma* son reconocidos por su capacidad para promover el crecimiento vegetal, mejorar la germinación de semillas y favorecer el desarrollo

radicular, especialmente a través de mecanismos de control biológico y la modulación de respuestas frente a condiciones adversas (Guzmán et al., 2025).

El tratamiento biológico de las semillas con *Trichoderma* spp. es una estrategia novedosa, ya que este hongo benéfico tiene la capacidad antagónica frente a los patógenos, inducir resistencia sistémica y estimular el crecimiento de las plantas; esto se traduce en un aumento del rendimiento y una disminución de las enfermedades (Yao et al., 2023). Por lo cual, es apropiado evaluar los impactos de esta práctica en híbridos de maíz, tanto para la producción de grano como de forraje, con el objetivo de incrementar la eficiencia y sostenibilidad en el sector agrícola.

El crecimiento de la población mundial representa uno de los mayores retos para la agricultura moderna. De acuerdo con estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para el año 2050 será necesario incrementar la producción de alimentos en alrededor del 70 % para satisfacer la demanda global (FAO, 2018). Este desafío se ve agravado por el uso intensivo e inadecuado de fertilizantes sintéticos y agroquímicos, prácticas que deterioran la estructura y biodiversidad de los suelos, afectando la fertilidad y reduciendo los rendimientos (Alengebawy et al., 2021). A esto se suman factores ambientales como las variaciones de temperatura y la acumulación de metales pesados en el suelo, los cuales limitan el crecimiento vegetal, reducen la biomasa y afectan la formación de grano, impactando directamente en la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Vasilachi et al., 2023).

El género *Trichoderma* spp. juega un papel importante en la agricultura al segregar metabolitos secundarios que inducen la producción de fitoalexinas, ejercer efectos antagonistas y degradar paredes celulares de patógenos, mejorando la sanidad y productividad de los cultivos (Sood et al., 2020; Stange et al., 2024). En sistemas forrajeros, su aplicación favorece el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes, incrementando la biomasa, reduciendo enfermedades del suelo y optimizando el uso del agua (Zhu et al., 2022).

El control biológico mediante *Trichoderma* spp. se basa en mecanismos múltiples. Entre ellos destacan la competencia por espacio y nutrientes, la producción de metabolitos antibióticos y compuestos volátiles, la secreción de enzimas hidrolíticas que degradan la pared celular de los patógenos y la inducción de resistencia sistémica en las plantas (Rai et al., 2016). El micoparasitismo es un mecanismo clave, mediante el cual *Trichoderma* ataca directamente a hongos patógenos, liberando enzimas como quitinasas y glucanasas, que facilitan la penetración y degradación del huésped, provocando su muerte (Yao et al., 2023).

Además, *Trichoderma* spp. promueve el crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas, como el ácido indol-3-acético, la solubilización de nutrientes poco disponibles, la liberación de fosfatos, la producción de sideróforos y la mejora en la absorción de elementos esenciales como hierro, fósforo, zinc y potasio (Tyśkiewicz et al., 2022; Zhao et al., 2017). La inoculación de semillas con este hongo también reduce la resistencia mecánica de la testa,

facilitando la germinación y promoviendo el establecimiento temprano de plántulas (Delgado et al., 2013).

El tratamiento de semillas con *Trichoderma* spp. representa una alternativa ecológica y eficiente frente al uso de productos sintéticos, permitiendo controlar enfermedades fúngicas y mejorar la fisiología y el desarrollo de las plantas (Bunbury y Walker, 2019). Su aplicación ha mostrado eficacia en diversos cultivos, incluyendo berenjena, frijol, café, tomate, papa y especies forestales, evidenciando su potencial para incrementar la productividad de manera sostenible y contribuir a la seguridad alimentaria regional (Borkman et al., 1998; Xue et al., 2017).

Dadas estas características, esta investigación se enfocó en evaluar los efectos del bio-tratamiento de semillas con *Trichoderma* spp. sobre la sanidad vegetal y el rendimiento de dos híbridos de maíz en los sistemas de producción de grano y forraje en el cantón Vinces, provincia de Los Ríos, Ecuador. El estudio busca generar información que respalde la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, reduciendo la dependencia de agroquímicos, mejorando la productividad y optimizando el uso de recursos en el cultivo de maíz, contribuyendo de manera directa al fortalecimiento de la agricultura más sostenible.

METODOLOGÍA

El presente ensayo de investigación se llevó a cabo en el primer semestre del año 2025, en la localidad de Vinces, provincia de Los Ríos, Ecuador (22 msnm; coordenadas UTM: 645132 N, 9833575 E), con un clima tropical húmedo y temperatura media anual de 25,6 °C, precipitación de 2329,8 mm y humedad relativa promedio de 82 %. Se evaluaron los híbridos de maíz DEKALB 7088 y ADVANTA 9139, seleccionados por su potencial productivo.

Para el experimento se consideró un diseño factorial ($2 \times 2 \times 3$) en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, combinando híbrido, tratamiento químico de semilla (sí/no) y bio-inoculación con *Trichoderma* spp. (productos Inmortal y TrichoD) o sin inoculación. Las parcelas midieron 32 m², con distanciamiento de siembra de 0,8 m entre calles y 0,2 m entre plantas, y el suelo se preparó mediante arado y pases de rastra. La fertilización química incluyó P y K al momento de siembra y N fue fraccionado a los 20 y 40 dds. El riego se mantuvo en capacidad de campo durante la etapa de desarrollo del cultivo y el control de malezas, insectos y enfermedades se efectuó según monitoreo, sin uso de fungicidas.

La bio-inoculación se realizó con dos formulados comerciales: INMORTAL (*Trichoderma* spp.; 2×10^{11} UFC g⁻¹; esporas viables >92 %) y TRICHOD (*Trichoderma harzianum*; 1×10^8 UFC g⁻¹; esporas viables >90 %). Para ambos productos se utilizó una dosis de 0,2 kg ha⁻¹ (200 g ha⁻¹), aplicada mediante recubrimiento uniforme de la semilla (mezclado hasta lograr cobertura homogénea) y siembra el mismo día.

Se registraron variables de germinación, crecimiento vegetativo (altura, diámetro de tallo, desarrollo radicular), altura de inserción de mazorca, incidencia y severidad de enfermedades, y

rendimiento de forraje y grano. Los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Tukey al 5 % usando InfoStat.

RESULTADOS

Resultados registrados en ensayo en invernadero

Germinación de las semillas (%)

Efectuado el análisis de comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$), se observaron diferencias estadísticas significativas entre los bio-tratamientos evaluados, con un coeficiente de variación de 6.15 %. El tratamiento Inmortal presentó el mayor porcentaje de germinación, con un promedio de 92.3 %, seguido por TrichoD con 90.4 %, mientras que el tratamiento sin inoculación registró el menor promedio (84.0 %). En cambio, no se observaron diferencias significativas entre los híbridos, ni entre los tratamientos químicos. Los híbridos ADVANTA 9139 y DEKALB 7088 alcanzaron promedios similares de germinación (89.1 % y 88.8 %, respectivamente), al igual que las semillas tratadas químicamente y no tratadas, ambas con un promedio de 88.9 %.

Tabla 1
Comparación de medias de la variable porcentaje de germinación en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	92.3	a
	TrichoD	90.4	a
	Sin inoculación	84.0	b
Híbrido	ADVANTA 9139	89.1	a
	DEKALB 7088	88.8	a
Tratamiento químico	No tratada	88.9	a
	Tratada	88.9	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Altura de planta a los 10 días después de la siembra (cm)

De acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), se observaron diferencias significativas en la altura de planta a los 10 días después de la siembra, con un coeficiente de variación de 9.26 % (Tabla 2). El bio-tratamiento Inmortal registró la mayor altura promedio (27.4 cm), seguido por TrichoD (25.3 cm) y sin inoculación (22.5 cm). Entre los híbridos, ADVANTA 9139 alcanzó la mayor altura (30.8 cm), superando significativamente a DEKALB 7088 (19.3 cm). En cuanto al tratamiento químico, las semillas no tratadas mostraron mayor altura (26.4 cm) respecto a las tratadas (23.7 cm).

Tabla 2

Comparación de medias de la variable altura de planta a los 10 dds (cm) en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	27.4	a
	TrichoD	25.3	b
	Sin inoculación	22.5	c
Híbrido	ADVANTA 9139	30.8	a
	DEKALB 7088	19.3	b
Tratamiento químico	No tratada	26.4	a
	Tratada	23.7	b

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Altura de planta a los 20 días después de la siembra (cm)

Para la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se observaron diferencias significativas en la altura de planta a los 20 días después de la siembra, con un coeficiente de variación de 11.78 % (Tabla 3). Los tratamientos con bio-inoculantes presentaron los mayores valores de crecimiento, destacándose Inmortal con una media de 49.5 cm y TrichoD con 47.9 cm, ambos superiores al tratamiento sin inoculación, que alcanzó 41.0 cm. Entre los híbridos, ADVANTA 9139 registró una mayor altura promedio (48.1 cm) en comparación con DEKALB 7088 (44.2 cm). Las semillas no tratadas químicamente mostraron un crecimiento superior (48.3 cm) frente a las tratadas (44.0 cm).

Tabla 3

Comparación de medias de la variable altura de planta a los 20 dds (cm) en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.).

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	49.5	a
	TrichoD	47.9	a
	Sin inoculación	41.0	b
Híbrido	ADVANTA 9139	48.1	a
	DEKALB 7088	44.2	b
Tratamiento químico	No tratada	48.3	a
	Tratada	44.0	b

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Altura de planta a los 30 días después de la siembra (cm)

En la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se observan diferencias significativas en la altura de planta a los 30 días después de la siembra, con un coeficiente de variación de 9.21 % (Tabla 4). El bio-tratamiento Inmortal alcanzó la mayor altura (87.6 cm), seguido de TrichoD (76.3 cm) y sin inoculación (68.3 cm). El factor híbrido y tratamiento químico no presentaron diferencias significativas.

Tabla 4

Comparación de medias de la variable altura de planta a los 30 dds (cm) en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.).

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	87.6	a
	TrichoD	76.3	b
	Sin inoculación	68.3	c
Híbrido	ADVANTA 9139	76.5	a
	DEKALB 7088	78.2	a
Tratamiento químico	No tratada	78.4	a
	Tratada	76.3	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Longitud de raíz (cm), 10 días después de la siembra

En la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se presentan diferencias significativas en la longitud de raíz a los 10 días después de la siembra, con un coeficiente de variación de 10.69 % (Tabla 5). El bio-tratamiento Inmortal registró la mayor longitud promedio (26.0 cm), seguido de TrichoD (24.2 cm) y sin inoculación (22.5 cm). Entre los híbridos, ADVANTA 9139 presentó raíces más largas (29.2 cm) que DEKALB 7088 (19.3 cm). En cuanto al tratamiento químico, las semillas tratadas mostraron una ventaja (25.2 cm) sobre las no tratadas (23.3 cm).

Tabla 5

Comparación de medias de la variable Longitud de raíz (cm), 10 días después de la siembra en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.).

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	26.0	a
	TrichoD	24.2	ab
	Sin inoculación	22.5	b
Híbrido	ADVANTA 9139	29.2	a
	DEKALB 7088	19.3	b
Tratamiento químico	No tratada	23.3	b
	Tratada	25.2	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Longitud de raíz (cm), 20 días después de la siembra

La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) reportó diferencias significativas en la longitud de raíz a los 20 días después de la siembra, con un coeficiente de variación de 11.38 % (Tabla 6). El bio-tratamiento Inmortal obtuvo la mayor longitud promedio (45.3 cm), seguido de TrichoD (42.6 cm), ambos superiores al tratamiento sin inoculación (31.3 cm). Los híbridos ADVANTA 9139 y DEKALB 7088 presentaron valores estadísticamente similares, mientras que las semillas tratadas químicamente mostraron una longitud de raíz ligeramente mayor (41.3 cm) que las no tratadas (38.1 cm).

Tabla 6

Comparación de medias de la variable Longitud de raíz (cm), 20 días después de la siembra en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	45.3	a
	TrichoD	42.6	a
	Sin inoculación	31.3	b
Híbrido	ADVANTA 9139	40.3	a
	DEKALB 7088	39.2	a
Tratamiento químico	No tratada	38.1	b
	Tratada	41.3	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Resultados de variables registradas en ensayo de campo

Diámetro de tallo a los 10 días después de la siembra (mm)

Para la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se encontró diferencias significativas en el diámetro de tallo a los 10 días después de la siembra, con un coeficiente de variación de 8.15 % (Tabla 7). Los tratamientos con bio-inoculantes presentaron mayores valores, destacando Inmortal (5.5 mm) y TrichoD (5.3 mm), ambos superiores al tratamiento sin inoculación (4.6 mm). El híbrido ADVANTA 9139 registró el mayor diámetro (6.2 mm) en comparación con DEKALB 7088 (4.1 mm). No se observaron diferencias entre las semillas tratadas y no tratadas químicamente.

Tabla 7

Comparación de medias de la variable Diámetro de tallo (mm), 10 días después de la siembra en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	5.5	a
	TrichoD	5.3	a
	Sin inoculación	4.6	b
Híbrido	ADVANTA 9139	6.2	a
	DEKALB 7088	4.1	b
Tratamiento químico	No tratada	5.0	a
	Tratada	5.3	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Diámetro de tallo a los 20 días después de la siembra (mm)

Respecto a la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se observan diferencias significativas en el diámetro de tallo a los 20 días después de la siembra, con un coeficiente de variación de 7.20 % (Tabla 8). El bio-tratamiento Inmortal registró el mayor valor promedio (10.2 mm), seguido de TrichoD (9.7 mm), ambos superiores al tratamiento sin inoculación (8.7 mm). El factor híbrido y tratamiento químico no presentaron diferencias significativas.

Tabla 8

Comparación de medias de la variable Diámetro de tallo (mm), 20 días después de la siembra en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	10.2	a
	TrichoD	9.7	a
	Sin inoculación	8.7	b
Híbrido	ADVANTA 9139	9.6	a
	DEKALB 7088	9.5	a
Tratamiento químico	No tratada	9.6	a
	Tratada	9.5	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Diámetro de tallo a los 30 días después de la siembra (mm)

En la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se encontró diferencias significativas en el diámetro de tallo a los 30 días después de la siembra, con un coeficiente de variación de 9.94 % (Tabla 9). El bio-tratamiento Inmortal presentó el mayor valor promedio (19.7 mm), seguido de TrichoD (18.3 mm), ambos superiores al tratamiento sin inoculación (17.0 mm). El híbrido DEKALB 7088 registró un diámetro mayor (19.0 mm) en comparación con ADVANTA 9139 (17.6 mm), mientras que el tratamiento químico no reportó diferencias significativas entre semillas tratadas y no tratadas.

Tabla 9

Comparación de medias de la variable Diámetro de tallo (mm), 30 días después de la siembra en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	19.7	a
	TrichoD	18.3	ab
	Sin inoculación	17.0	b
Híbrido	ADVANTA 9139	17.6	b
	DEKALB 7088	19.0	a
Tratamiento químico	No tratada	17.8	a
	Tratada	18.8	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Diámetro de tallo a los 40 días después de la siembra (mm)

Realizada la comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) se observan diferencias significativas en el diámetro de tallo a los 40 días después de la siembra, con un coeficiente de variación de 6.33 % (Tabla 10). El bio-tratamiento Inmortal presentó el mayor promedio (25.0 mm), seguido de TrichoD (22.8 mm) y sin inoculación (21.1 mm). El factor híbrido y tratamiento químico no mostraron diferencias significativas, registrándose valores promedio similares entre tratamientos.

Tabla 10

Comparación de medias de la variable Diámetro de tallo (mm), 40 días después de la siembra en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	25.0	a
	TrichoD	22.8	b
	Sin inoculación	21.1	c
Híbrido	ADVANTA 9139	22.9	a
	DEKALB 7088	23.0	a
Tratamiento químico	No tratada	23.1	a
	Tratada	22.8	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Inserción de mazorca (cm)

En lo que se refiere a la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) podemos notar diferencias significativas en la inserción de mazorca, con un coeficiente de variación de 4.98 % (Tabla 11). El bio-tratamiento Inmortal registró la mayor altura promedio (148.1 cm), seguido de TrichoD (144.6 cm), ambos superiores al tratamiento sin inoculación (130.6 cm). No se observaron diferencias significativas entre híbridos ni entre tratamientos químicos.

Tabla 11

Comparación de medias de la variable Inserción de mazorca (cm) en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	148.1	a
	TrichoD	144.6	a
	Sin inoculación	130.6	b
Híbrido	ADVANTA 9139	140.8	a
	DEKALB 7088	141.8	a
Tratamiento químico	No tratada	142.1	a
	Tratada	139.4	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Altura de planta a la cosecha (cm)

Realizada la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se observaron diferencias significativas en la altura de planta a la cosecha, con un coeficiente de variación de 5.69 % (Tabla 12). El bio-tratamiento Inmortal presentó la mayor altura promedio (267.9 cm), seguido de TrichoD (265.9 cm), ambos superiores al tratamiento sin inoculación (250.8 cm). Se registraron diferencias significativas entre híbridos, donde DEKALB 7088 presentó mayor altura a la cosecha (266.1 cm) en comparación con ADVANTA 9139 (257.0 cm). En cambio, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos químicos.

Tabla 12

Comparación de medias de la variable Altura de planta a cosecha (cm) en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media
Bio-tratamiento	Inmortal	267.9 a
	TrichoD	265.9 a
	Sin inoculación	250.8 b
Híbrido	ADVANTA 9139	257.0 b
	DEKALB 7088	266.1 a
Tratamiento químico	No tratada	262.4 a
	Tratada	260.7 a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Rendimiento de forraje en kg/ha

Para la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se evidenció diferencias significativas entre los bio-tratamientos, con un coeficiente de variación de 6.04 % (Tabla 13). Los tratamientos Inmortal (77 925 kg/ha) y TrichoD (76 031 kg/ha) registraron los mayores rendimientos de forraje, superando significativamente al tratamiento sin inoculación (69 134 kg/ha). En cambio, no se observaron diferencias significativas entre híbridos ni entre tratamientos químicos.

Tabla 13

Comparación de medias de la variable Rendimiento de forraje en kg/ha de materia verde en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media
Bio-tratamiento	Inmortal	77925.0 a
	TrichoD	76031.3 a
	Sin inoculación	69134.8 b
Híbrido	ADVANTA 9139	73070.3 a
	DEKALB 7088	75657.0 a
Tratamiento químico	No tratada	74851.0 a
	Tratada	73876.0 a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Rendimiento de grano de maíz en kg/ha

De acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), se observaron diferencias significativas entre los bio-tratamientos, con un coeficiente de variación de 6.53 % (Tabla 14). Los tratamientos Inmortal (8 602 kg/ha) y TrichoD (8 294 kg/ha) obtuvieron mayores rendimientos de grano en comparación con el tratamiento sin inoculación (7 722.9 kg/ha). El híbrido ADVANTA 9139 (8 708 kg/ha) superó estadísticamente al DEKALB 7088 (7 705 kg/ha). Por su parte, el tratamiento químico no presentó diferencias significativas.

Tabla 14

Comparación de medias de la variable Rendimiento de grano en kg/ha en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.).

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	8602.0	a
	TrichoD	8294.0	a
	Sin inoculación	7722.9	b
Híbrido	ADVANTA 9139	8708.0	a
	DEKALB 7088	7705.0	b
Tratamiento químico	No tratada	8225.9	a
	Tratada	8187.3	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Incidencia de la enfermedad por *Fusarium* (%)

En lo que se refiere a la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 19.04 % (Tabla 15). El menor porcentaje de incidencia de *Fusarium* se registró con el bio-tratamiento Inmortal (4.2%), seguido por TrichoD (7.2%), mientras que el tratamiento sin inoculación (11.9%) presentó la mayor afectación. Entre híbridos, DEKALB 7088 (6.9%) mostró menor incidencia en comparación con ADVANTA 9139 (8.6%). Asimismo, las semillas tratadas químicamente (6.9%) presentaron una reducción significativa de la enfermedad respecto a las no tratadas (8.6%).

Tabla 15

Comparación de medias de la variable Incidencia enfermedad Fusarium (%) en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.).

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	4.2	c
	TrichoD	7.2	b
	Sin inoculación	11.9	a
Híbrido	ADVANTA 9139	8.6	a
	DEKALB 7088	6.9	b
Tratamiento químico	No tratada	8.6	a
	Tratada	6.9	b

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Severidad de la enfermedad por *Fusarium* (%)

Según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, con un coeficiente de variación de 24.08 % (Tabla 16). El menor porcentaje de severidad se obtuvo con el bio-tratamiento Inmortal (4.0%), seguido de TrichoD (5.7%), mientras que el tratamiento sin inoculación (9.7%) presentó la mayor afectación. Entre híbridos no se encontraron diferencias significativas, con valores promedio de 6.8% para

ADVANTA 9139 y 6.1% para DEKALB 7088. En cuanto al tratamiento químico, las semillas tratadas (5.9%) mostraron una reducción significativa de la severidad en comparación con las no tratadas (7.0%).

Tabla 16
Comparación de medias de la variable Severidad enfermedad Fusarium (%) en función del bio-tratamiento, híbrido y tratamiento químico en maíz (Zea mays L.)

Factor	Tratamiento / Híbrido	Media	
Bio-tratamiento	Inmortal	4.0	c
	TrichoD	5.7	b
	Sin inoculación	9.7	a
Híbrido	ADVANTA 9139	6.8	a
	DEKALB 7088	6.1	a
Tratamiento químico	No tratada	7.0	a
	Tratada	5.9	b

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el bio-tratamiento de semillas con *Trichoderma spp.* (productos Inmortal y TrichoD) mejoró significativamente la germinación, el crecimiento vegetativo y la sanidad vegetal del maíz, en comparación con las semillas no inoculadas. El tratamiento Inmortal presentó el mayor porcentaje de germinación (92.3%), seguido de TrichoD (90.4%), mientras que el control sin inoculación alcanzó solo un 84.0%. Estos hallazgos están en línea con lo reportado por Guzmán et al. (2025), quienes concluyeron que *Trichoderma spp.* promueve la germinación de semillas al mejorar la estructura de la testa y facilitar su penetración, lo cual favorece el establecimiento temprano de las plántulas.

En cuanto al crecimiento vegetativo, se observó que el bio-tratamiento con *Trichoderma* incrementó significativamente la altura de las plantas y la longitud de las raíces a los 10, 20 y 30 días después de la siembra. El tratamiento Inmortal fue el que presentó los mejores resultados en altura (27.4 cm a los 10 días y 87.6 cm a los 30 días), lo que respalda los resultados obtenidos por Tyśkiewicz et al. (2022), quienes afirman que *Trichoderma spp.* favorece el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes, elementos clave para el crecimiento temprano de las plantas. La mejora en el crecimiento vegetativo se atribuye a los efectos de las fitohormonas producidas por *Trichoderma*, como el ácido indol-3-acético, que estimula la elongación celular y la formación de raíces (Zhao et al., 2017).

Uno de los hallazgos más relevantes del estudio es la reducción significativa en la incidencia y severidad de la enfermedad por *Fusarium spp.*, un patógeno que afecta gravemente a los cultivos de maíz. El tratamiento con *Trichoderma spp.* redujo la incidencia de *Fusarium* a solo 4.2% con Inmortal y 7.2% con TrichoD, en comparación con un 11.9% en el control sin

inoculación. Este efecto biocontrolador es consistente con lo reportado por Yao et al. (2023), quienes destacan que *Trichoderma spp.* actúa de manera efectiva frente a *Fusarium* mediante la producción de metabolitos antifúngicos y la inducción de resistencia sistémica en las plantas. Además, la disminución en la severidad de la enfermedad (4.0% con Inmortal) también respalda su potencial como agente biocontrolador, tal como lo sugiere Karuppiyah et al. (2022), quienes indican que *Trichoderma* puede minimizar los daños causados por patógenos fúngicos en maíz y otros cultivos.

En términos de rendimiento, los tratamientos con *Trichoderma* (Inmortal y TrichoD) mostraron incrementos significativos en el rendimiento tanto de forraje como de grano. El rendimiento de forraje fue de 77,925 kg/ha con Inmortal y 76,031 kg/ha con TrichoD, en comparación con 69,134 kg/ha en el control. En cuanto al rendimiento de grano, el tratamiento Inmortal alcanzó 8,602 kg/ha, superior a los 7,722.9 kg/ha del control. Estos resultados son similares a los obtenidos por Woo et al. (2023), quienes documentaron aumentos en la productividad de diversos cultivos tratados con *Trichoderma* gracias a su acción promotora del crecimiento y control de patógenos. La mejora en los rendimientos podría estar relacionada con la capacidad de *Trichoderma* para solubilizar nutrientes y mejorar la absorción de elementos esenciales como fósforo y nitrógeno (Sood et al., 2020).

Además, el tratamiento con *Trichoderma* demostró ser una alternativa eficaz al uso de agroquímicos, ya que contribuye a la reducción de la dependencia de fungicidas sin comprometer la productividad. Esto es consistente con estudios previos que han señalado los beneficios ecológicos y económicos del uso de bio-inoculantes como *Trichoderma*, los cuales permiten un manejo más sostenible de los cultivos (Bunbury-Blanchette & Walker, 2019; Vinale et al., 2008).

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que el bio-tratamiento de semillas con *Trichoderma spp.* es una estrategia prometedora para mejorar el establecimiento, la sanidad y el rendimiento del maíz. La reducción de enfermedades fúngicas, el incremento en la productividad y la posibilidad de disminuir el uso de productos sintéticos posicionan a *Trichoderma spp.* como una alternativa sostenible en la agricultura, especialmente en sistemas de producción tropical como los de Ecuador.

CONCLUSIONES

El bio-tratamiento de semillas con *Trichoderma spp.* incrementó significativamente la germinación, el desarrollo vegetativo y radicular del maíz en comparación con la semilla sin inoculación.

Los tratamientos Inmortal y TrichoD redujeron notablemente la incidencia y severidad de la enfermedad causada por *Fusarium spp.*, evidenciando un efecto antagonista efectivo y consistente.

Se registraron incrementos significativos en los rendimientos de forraje y grano, demostrando que el uso de *Trichoderma* spp. favorece la productividad y la sanidad vegetal simultáneamente.

El uso de bio-inoculantes constituye una alternativa sostenible al manejo químico de semillas, con potencial para reducir el uso de fungicidas y contribuir a la sostenibilidad de la agricultura tropical en Ecuador.

Se recomienda ampliar los estudios a diferentes localidades y condiciones edafoclimáticas, así como evaluar la persistencia de *Trichoderma* spp. en el suelo y su interacción con la microbiota rizosférica.

REFERENCIAS

- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M. Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 42.
- Björkman, T., Blanchard, LM y Harman, GE (1998). Mejora del crecimiento del maíz dulce Shrunken-2 (SH2) mediante *Trichoderma harzianum* 1295-22: efecto del estrés ambiental. *Revista de la Sociedad Americana de Ciencias Hortícolas*, 123 (1), 35-40.
- Bononi, L., Chiaramonte, JB, Pansa, CC, Moitinho, MA y Melo, IS (2020). *Trichoderma* spp. solubilizadores de fósforo de suelos amazónicos mejoran el crecimiento de la soja. *Scientific Reports*, 10 (1), 2858.
- Bunbury-Blanchette, AL, y Walker, AK (2019). Especies de *Trichoderma* muestran potencial de biocontrol en cultivos duales y bioensayos en invernadero contra la pudrición basal de cebolla por *Fusarium*. *Control Biológico*, 130, 127-135.
- Carrasco Vargas, W., Montero Flores, P., Cobos Mora, F., & Gómez Villalva, J. (2023). Historia del maíz desde tiempos ancestrales hasta la actualidad. *Journal of Science and Research*, 8(4), 115–130. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2951>
- Colina, E., Castro, C., Sánchez, H., & Troya, G. (2017). Evaluación de fertilizantes de liberación controlada con fertilización convencional sobre el rendimiento de maíz duro (*Zea mays*) en la zona de Febres-Cordero, provincia de Los Ríos. *Revista Alfa*, 1(3), 88–97. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v1i3.30>
- Contreras-Cornejo, HA, Schmoll, M., Esquivel-Ayala, BA, González-Esquivel, CE, Rocha-Ramírez, V., & Larsen, J. (2024). Mecanismos de promoción del crecimiento vegetal activados por *Trichoderma* en ecosistemas terrestres naturales y gestionados. *Microbiological research*, 281, 127621.
- Cuervo-Parra, JA, Pérez España, VH, Zavala-González, EA, Peralta-Gil, M., Aparicio Burgos, JE, & Romero-Cortes, T. (2022). Cepas de *Trichoderma asperellum* como posibles agentes de control biológico contra *Fusarium verticillioides* y *Ustilago maydis* en maíz. *Biocontrol Science and Technology*, 32 (5), 624-647.
- De Lima Gonilha, DB, Santos, CHB, Frezarín, ET, Siqueira, JS y Rigobelo, EC (2024). Estrategias biológicas para minimizar el uso de fertilizantes en maíz: eficacia de *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*. *Investigación en microbiología*, 15 (4), 2261-2273.
- Delgado-Sánchez, P., Jiménez-Bremont, JF, Guerrero-González, MDLL, y Flores, J. (2013). Efecto de los hongos y la luz en la germinación de semillas de tres especies de *Opuntia* de tierras semiáridas del centro de México. *Journal of Plant Research*, 126 (5), 643-649.

- FAO. (2018). *The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/global-perspectives-studies/food-agriculture-projections-to-2050/en/>
- Gómez, R., Pérez, F., & Martínez, L. (2021). *Impacto de las condiciones climáticas en el rendimiento del maíz en la región costera: Humedad, temperatura y radiación solar*. *Journal of Agricultural Research*, 30(3), 235-246. <https://doi.org/10.1016/j.agres.2021.02.004>
- González, H., Andrade, F. H., & Vega, C. R. C. (2021). Physiological basis of maize yield potential and stress adaptation: A review. *Field Crops Research*, 270, 108223.
- Gutiérrez-Guzmán, U. N., & Ríos-Vega, M. E. (2022). Producción de maíz forrajero con dos sistemas de riego y tres niveles de la evaporación aplicada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(10), 263–276.
- Guzmán-Guzmán, P., Etesami, H., & Santoyo, G. (2025). *Dual roles of Trichoderma spp. in plant growth promotion and biological control for sustainable agriculture*. *Microorganisms*, 13(8), 1840. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13081840>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). Boletín técnico ESPAC 2023: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. INEC. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Boletin_tecnico_ESPAC_2023.pdf
- Karuppiiah, V., He, A., Lu, Z., Wang, X., Li, Y. y Chen, J. (2022). Resistencia del maíz mediada por *Trichoderma asperellum* GDFS1009 contra la pudrición del tallo por *Fusarium graminearum* y la degradación de micotoxinas. *Control biológico*, 174, 105026.
- López-Coria, M., Guzman-Chavez, F., Carvente-García, R., Muñoz-Chapul, D., Sanchez-Sanchez, T., Arciniega-Ruiz, JM, ... & Sanchez-Nieto, S. (2023). La planta de maíz expresa transportadores SWEET de forma diferente al interactuar con *Trichoderma asperellum* y *Fusarium verticillioides*, dos hongos con diferentes estilos de vida. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1253741.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (MAG). (2024). *Informe del análisis de los determinantes de la productividad de maíz amarillo duro en Ecuador 2023*. Gobierno de Ecuador. https://pidara.mag.gob.ec/wp-content/uploads/2024/12/Informe_determinantes_productividad_maiz_2023.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Pfordt, A., & Paulus, S. (2024). *Detection and differentiation of maize diseases and pests: Impacts on yield and quality*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 132, 40. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-01019-4>

- Rai, S., Kashyap, PL, Kumar, S., Srivastava, AK y Ramteke, PW (2016). Identificación, caracterización y análisis filogenético de *Trichoderma* antifúngico de la rizosfera del tomate. Springerplus , 5 (1), 1939.
- Saravanakumar, K., Li, Y., Yu, C., Wang, QQ, Wang, M., Sun, J., ... y Chen, J. (2017). Efecto de *Trichoderma harzianum* en el microbioma rizosfera del maíz y biocontrol de la pudrición del tallo causada por *Fusarium*. Scientific reports, 7 (1), 1771.
- Sood, M., Kapoor, D., Kumar, V., Sheteiw, MS, Ramakrishnan, M., Landi, M., ... y Sharma, A. (2020). *Trichoderma*: Los secretos de un agente de biocontrol con múltiples talentos. Plants, 9 (6), 762.
- Springer, T., & Müller, T. (2022). *El maíz (Zea mays L.) y su papel en la agricultura global y la producción de biocombustibles*. *Agricultural Systems*, 121, 45-58. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- Stange, P., Kersting, J., Sivaprakasam Padmanaban, P. B., Schnitzler, J. P., Rosenkranz, M., Karl, T., & Benz, J. P. (2024). The decision for or against mycoparasitic attack by *Trichoderma* spp. is taken already at a distance in a prey-specific manner and benefits plant-beneficial interactions. *Fungal Biology and Biotechnology*, 11(1), 14.
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., & Jaroszuk-Ścisł, J. (2022). *Trichoderma: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth*. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2329. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- Vasilachi, IC, Stoleru, V. y Gavrilescu, M. (2023). Análisis del impacto de los metales pesados en el crecimiento y desarrollo de cultivos de cereales en suelos contaminados. *Agriculture*, 13 (10), 1983. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101983>
- Vera Rodríguez, J. H., Cepeda Landin, W. E., Espejo Galarza, F. A., Cárdenas Carreño, D. de los Á., Inga Herrera, G. M., Balón Cárdenas, A. del R., Granda Correa, J. D., & Delgado Orozco, J. C. (2020). Comparación de 2 formas de fertilización en cultivo de maíz variedad DK 7500, La Troncal-Ecuador. *Ciencia e Interculturalidad*, 26(1), 163–174. <https://doi.org/10.5377/rci.v26i01.9892>
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, EL, Marra, R., Woo, SL y Lorito, M. (2008). Interacciones *Trichoderma*–planta–patógeno. *Soil biology and Biochemistry*, 40 (1), 1-10.
- Woo, SL, Hermosa, R., Lorito, M. et al. *Trichoderma*: un microorganismo multipropósito beneficioso para las plantas para la agricultura ecosostenible. *Nat Rev Microbiol* 21, 312–326 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>
- Xue, AG, Guo, W., Chen, Y., Siddiqui, I., Marchand, G., Liu, J. y Ren, C. (2017). Efecto del tratamiento de semillas con nuevas cepas de *Trichoderma* spp. en el establecimiento y el rendimiento del trigo de primavera. *Crop Protection*, 96, 97-102.

- Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J. y Chen, J. (2023). *Trichoderma* y su papel en el control biológico de enfermedades causadas por hongos y nematodos en plantas. *Frontiers in microbiology*, 14, 1160551.
- Zhang, Y., Tian, C., Xiao, J., Wei, L., Tian, Y. y Liang, Z. (2020). La inoculación del suelo con *Trichoderma asperellum* M45a regula los microbios de la rizosfera y aumenta la resistencia de la sandía al marchitamiento por *Fusarium*. *Amb Express*, 10 (1), 189.
- Zhao, Lei, Qun, Liu y Qing-yu, CUI (2017). Efecto de la fosfatasa ácida producida por *Trichoderma asperellum* Q1 sobre el crecimiento de *Arabidopsis* bajo estrés salino. *Revista de Agricultura Integrativa*, 16 (6), 1341-1346.
- Zhu, L., Zhao, X., Wang, C., Wang, J., Wang, P., & Tian, C. (2022). *Trichoderma* affects plant growth and soil ecological environment: A review. *Žemdirbystė / Agriculture*, 109(4), 341–348