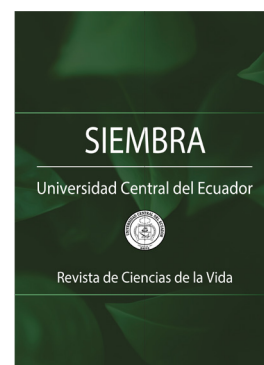


# Efecto de los herbicidas sobre la población de microorganismos en el cultivo de *Theobroma cacao* L., en la parroquia Luz de América, Ecuador

## Effect of herbicides on the population of microorganisms in the cultivation of *Theobroma cacao* L., in the Luz de América parish, Ecuador

Eduardo Patricio Vaca Pazmiño<sup>1</sup>, Milton Vinicio Uday Patiño<sup>2</sup>,  
Dennis Vinicio Uday Ortega<sup>3</sup>, Rocío Noemí Guamán Guamán<sup>4\*</sup>,  
Ángel Fabián Villavicencio Abril<sup>5</sup>, Santiago Miguel Ulloa Cortázar<sup>6</sup>



Siembra 12 (1) (2025): e7320

Recibido: 10/10/2024 / Revisado: 09/12/2024 / Aceptado: 07/01/2025

<sup>1</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sede Santo Domingo de los Tsáchilas. Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura. Vía Santo Domingo-Quevedo km 24. P.O. BOX 171-5-231B. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

✉ epvaca@espe.edu.ec

🔗 <https://orcid.org/0000-0002-8980-6806>

<sup>2</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sede Santo Domingo de los Tsáchilas. Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura. Vía Santo Domingo-Quevedo km 24. P.O. BOX 171-5-231B. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

✉ mvuday@espe.edu.ec

🔗 <https://orcid.org/0000-0001-9446-1315>

<sup>3</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sede Santo Domingo de los Tsáchilas. Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura. Vía Santo Domingo-Quevedo km 24. P.O. BOX 171-5-231B. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

✉ dvuo.1104636954@gmail.com

🔗 <https://orcid.org/0009-0001-1900-9983>

<sup>4</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sede Santo Domingo de los Tsáchilas. Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura. Vía Santo Domingo-Quevedo km 24. P.O. BOX 171-5-231B. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

✉ rocioguamang08@hotmail.com

🔗 <https://orcid.org/0000-0002-1795-4068>

<sup>5</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sede Santo Domingo de los Tsáchilas. Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura. Vía Santo Domingo-Quevedo km 24. P.O. BOX 171-5-231B. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

✉ afvillavicencio1@espe.edu.ec

🔗 <https://orcid.org/0000-0003-0058-271X>

<sup>6</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sede Santo Domingo de los Tsáchilas. Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura. Vía Santo Domingo-Quevedo km 24. P.O. BOX 171-5-231B. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

✉ smulloa@espe.edu.ec

🔗 <https://orcid.org/0000-0001-6403-6780>

\*Autor de correspondencia: rocioguamang08@hotmail.com

### Resumen

La agricultura convencional se caracteriza por el uso excesivo de maquinarias, agroquímicos y prácticas poco cuidadosas con el ambiente. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de los herbicidas (glifosato y paraquat) sobre la población de microorganismos rizosféricos en el cultivo de *Theobroma cacao* L., en la parroquia Luz de América, Ecuador. La investigación se realizó en el periodo junio-noviembre de 2019; en un cultivo con siete años de edad, sembrado en arreglo 4x4 m, con 6,36% de materia orgánica, suelo franco limo arcilloso y pH de 5,93; con manejo idéntico en toda la plantación. Los tratamientos fueron; T1 = Herbicida sistémico-glifosato (1,5 l ha<sup>-1</sup>); T2 = Herbicida contacto-paraquat (1,5 l ha<sup>-1</sup>); y T3 = Control mecánico-chapeadora-testigo; cada uno con seis repeticiones. Se tomaron tres submuestras de suelo y se enviaron a los laboratorios del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. Las variables medidas fueron; desarrollo poblacional; identificación del género; y desarrollo poblacional de los hongos de la muestra. El análisis estadístico se realizó con Tinn-R. El día 28 marcó diferencia significativa entre todas las observaciones (P-valor=0,0269); la presencia de microorganismos tuvo mayor concentración cuando se utilizó paraquat (1.894.001 UFC ml<sup>-1</sup>). Se identificó la presencia de *Trichoderma* (mayor en paraquat) y *Fusarium* (mayor en glifosato); al evaluar el desarrollo poblacional de los hongos. Considerando los tratamientos y los días de observación, se confirmó que *Trichoderma* disminuye en mayor proporción su población cuando se aplica glifosato. Se concluyó que los dos herbicidas elevan el desarrollo de *Fusarium*, aunque paraquat en menor proporción, a la vez que este promueve la presencia de *Trichoderma*.

**Palabras clave:** Concentración poblacional, control de malezas, herbicidas, microorganismos rizosféricos, *Theobroma cacao* L.

### Abstract

Conventional agriculture is characterized by excessive use of machinery, agrochemicals, and environmentally unfriendly practices. We aimed to determine the effect of herbicides (glyphosate and paraquat) on the population of rhizosphere microorganisms in *Theobroma cacao* L. crops

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

Periodicidad: semestral

vol. 12, núm 1, 2025

siembra.fag@uce.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v12i1.7320>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial

in the municipality of Luz de América, Ecuador. The research was carried out between June and November 2019 in a seven-year-old crop planted in a 4x4 m arrangement, with 6.36 % organic matter, silt loam clay loam soil, and pH of 5.93 with identical management throughout the plantation. The treatments were: T1 = systemic herbicide-glyphosate (1.5 l/ha); T2 = contact herbicide-paraquat (1.5 l/ha); and T3 = mechanical control-mower-control; each with six replicates. Three soil subsamples were taken and sent to the laboratories of the Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). The variables measured were population growth, genus identification, and fungal population growth of sample. Statistical analyses were carried out using Tinn-R. Day 28 marked a significant difference between all observations (P-value=0.0269); the presence of microorganisms had a higher concentration when paraquat was used (1,894,001 CFU/ml). The presence of *Trichoderma* (higher in paraquat) and *Fusarium* (higher in glyphosate) was noted when evaluating the population development of the fungi. Considering the treatments and the days of observation, it was confirmed that the population of *Trichoderma* decreased in greater proportion when glyphosate was applied. We conclude that the two herbicides increase the development of *Fusarium*, although paraquat to a lesser extent, while paraquat favors the presence of *Trichoderma*.

**Keywords:** Population concentration, weed control, herbicides, rhizosphere microorganisms, *Theobroma cacao* L.

## 1. Introducción

En los últimos años, la seguridad alimentaria ha tenido grandes problemáticas como consecuencia de una sobrepoblación humana y una mínima aplicación de protocolos agrícolas sustentables. Esto promueve una corta duración de los recursos naturales y limita la producción debido a alteraciones de factores bióticos y abióticos (Cruz Cárdenas et al., 2021). Se conoce que el buen uso de recursos, como el agua y el suelo, permite que los productores sean autosuficientes (Guamán Guamán et al., 2020), pues es posible cultivar sin mitigar los recursos naturales, a través de la aplicación de técnicas destinadas a cuidar el ambiente (Waseem et al., 2020).

Cabe recalcar que, la agricultura convencional se caracteriza por el uso excesivo de maquinarias, agroquímicos y prácticas poco cuidadosas con el ambiente, que ocasiona modificaciones en el sistema edáfico e inestabilidad ambiental (Alarcón et al., 2020). Esto causa una alteración sobre la interacción suelo-planta-microorganismos, misma que, en óptimas condiciones, tiene la capacidad de mejorar la estructura del suelo y permitir la conservación de los agroecosistemas naturales (Rosabal Ayan et al., 2021).

Dentro del mismo contexto, el modelo actual de explotación agrícola, de manera general, se mantiene asociado al uso de agroquímicos, siendo los más usados los herbicidas, fertilizantes, insecticidas y fungicidas (MacLaren et al., 2020). En el caso de los herbicidas, estos se consideran la principal opción al momento de aplicar un control de malezas en los cultivos, práctica que es considerada obligatoria dentro de una plantación, pues las malezas pueden generar una reducción de hasta un 30% en la producción agrícola (González-Ortega y Fuentes-Ponce, 2022).

En este aspecto, el glifosato es el principal herbicida (no selectivo sistémico) aplicado en los cultivos de grandes extensiones, siendo su frecuencia de uso a nivel de Sudamérica de 66%, sin importar la casa comercial que lo produzca (Suárez Escobar et al., 2019). Este agroquímico fue declarado persistente en el suelo, lo que ha permitido encontrarlo en diversos ambientes acuáticos gracias a la escorrentía, afectando a la microbiota del suelo (Meena et al., 2020). De la misma manera, según Caicedo Amazo (2021), este herbicida contamina el aire, suelo, agua y alimentos, afectando directamente a la biodiversidad. Se conoce que el glifosato es un herbicida de amplio espectro, que causa daños a la salud e incluso tiene alta probabilidad de provocar cáncer, al ser ingerido o mantenerse la exposición a esta sustancia tóxica (Aborisade y Atuanya, 2020).

De la misma forma, el paraquat es uno de los herbicidas más usados en Norteamérica y uno de los más vendidos en el mundo, aunque está prohibido su uso en países europeos. Se utiliza en más de 120 cultivos, de manera principal en café, arroz, piña, cacao, palma, banano y pastos (Montero Rojas, 2018). Este herbicida es no selectivo de contacto, tiene alta persistencia, y se inactiva al tener contacto con el suelo, que tiende a almacenarse en este. Se ha logrado conocer que este herbicida puede mantenerse en el suelo hasta 7,2 años, y es considerado nocivo para los seres vivos (Stuart et al., 2023).

Por otra parte, los microorganismos presentes en el suelo, o también conocidos como microorganismos rizósferos (Granda Mora et al., 2021), han mostrado eficiencia dentro de los tratamientos destinados a mejorar la calidad del agua, minimizar olores ambientales, generar alimentos libres de agroquímicos, manejar desechos producidos por las explotaciones agropecuarias, recuperar la microfauna del suelo, entre otros (Morocho y Leiva-Mora, 2019). Según Saad et al. (2020), la actividad microbiana del suelo permite que se produzcan, en

mayor o menor cantidad, reacciones bioquímicas relacionadas con las alteraciones físicas, químicas y biológicas del suelo. A esto se suma su participación dentro de los ciclos de absorción, de carbono, nitrógeno, fósforo, hierro, azufre, entre otros (Soria, 2016). Es por esto que los microorganismos rizósferos son considerados un factor clave en la conservación de los recursos, pues permiten la reducción del uso de agroquímicos y elevan la productividad de los cultivos (Mandal et al., 2020). Sin embargo, es de considerar que las alteraciones microbianas del suelo mantienen una relación directa con el uso inadecuado y dependencia de agroquímicos aplicados en busca de incrementar la productividad de los cultivos (Bertola et al., 2021).

A nivel global, se estima que existe una comunidad de aproximadamente seis millones de agricultores que se dedican a la producción de *Theobroma cacao* L. (cacao). Entre el 2019 y 2020 se calcula que su producción a nivel mundial fue de 4,7 millones de toneladas, las cuales provienen principalmente de Costa de Marfil, Ghana y Ecuador (García-Briones et al., 2021).

Para el Ecuador, según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2022), el cacao es un producto con alta importancia en el Ecuador, pues ocupa una superficie nacional de 626.962 hectáreas. Este es cultivado especialmente en las provincias de Los Ríos (21,85%), Manabí (20,74%), Guayas (18,41%), Esmeraldas (17,17%) y Santo Domingo de los Tsáchilas (4,95%). El cacao en Santo Domingo de los Tsáchilas tiene una superficie cosechada de 20.635,79 ha, ya sea asociado o en forma de monocultivo, que representa un rubro importante dentro de la provincia (García Vidal et al., 2017).

Las principales problemáticas relacionadas al cultivo de cacao son los altos costos de insumos, los inadecuados planes de manejo, las deficientes labores de mantenimiento, y la pérdida de la fertilidad del suelo (Tetteh y Amos, 2024). Esta última como consecuencia del desgaste de los suelos y daño de la microfauna natural, que desencadena en una baja producción y disminuye la calidad del producto.

Al considerar los antecedentes presentados, el objetivo de la investigación fue determinar el efecto de los herbicidas (glifosato y paraquat) sobre la población de microorganismos rizósferos en el cultivo de *Theobroma cacao* L., en la parroquia Luz de América, Ecuador.

## 2. Materiales y Métodos

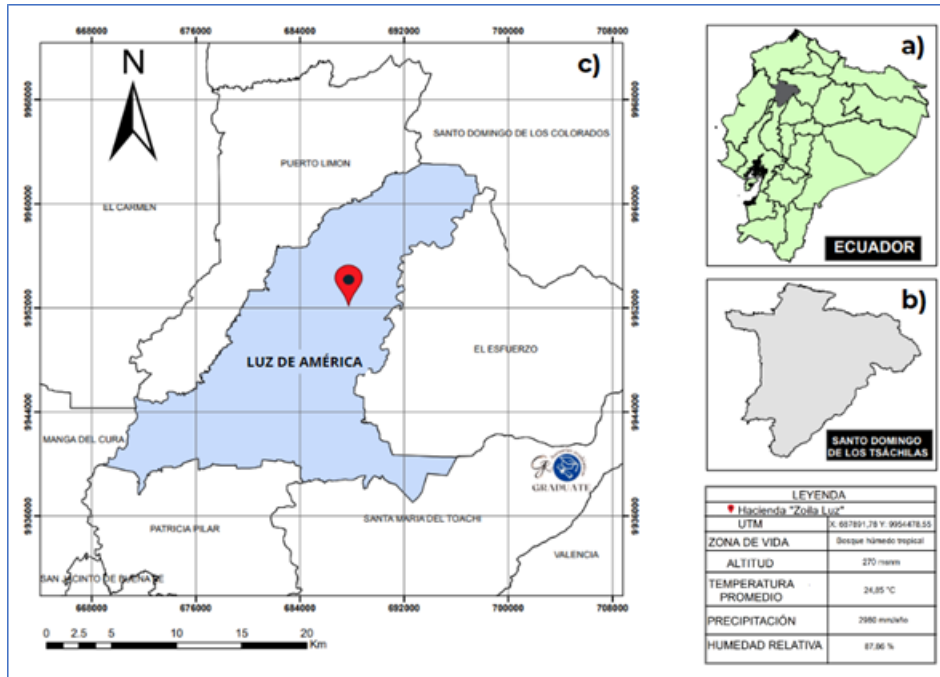
El estudio se llevó a cabo en la vía Santo Domingo-Quevedo, km 24 (Hacienda Zoila Luz – Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sede Santo Domingo) en la parroquia rural Luz de América, perteneciente a la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, bajo las condiciones agroecológicas descritas en la leyenda del mapa de la Figura 1. Las características principales del suelo de cultivo fueron: materia orgánica de 6,35%, tipo de suelo franco limo arcilloso, y pH de 5,93 (ligeramente ácido). La investigación se llevó a cabo durante el periodo junio-noviembre de 2019, en época considerada seca (representativa de escasa pluviosidad).

El cultivo fue de variedad CCN-51, con una edad de siete años. Fue establecido sobre un terreno con topografía plana (antiguo potrero bovino), con distanciamiento de siembra de 4x4 m. El manejo del cultivo en cuanto a podas, fertilización, riego, control sanitario, y control de malezas hasta antes de plantear el ensayo fue idéntico en toda la plantación. Cabe recalcar que en el cultivo antes de instalar el ensayo, se realizó una poda sanitaria (abril 2019).

A la vez, con la finalidad de ofrecer tanto a las plantas, como a los microorganismos, un ambiente rico en nutrientes, de forma previa se realizó un análisis de suelo (institución privada), y se estableció un plan de fertilización basado en dos aplicaciones, como se detalla en la Tabla 1. Esto como una estrategia destinada a brindar calidad nutritiva en el suelo, antes de iniciar el ensayo.

### 2.1. Instalación del ensayo

Para poder brindar diversos hábitats en el suelo del cultivo de cacao, y tener referencias que sirvan para realizar comparaciones, se establecieron tres tratamientos o controles de malezas (T1 = Herbicida sistémico-glifosato – 1,5 l ha<sup>-1</sup>; T2 = Herbicida contacto-paraquat – 1,5 l ha<sup>-1</sup>; y T3 = Control mecánico-chapeadora-testigo). Los tratamientos se replicaron en seis ocasiones, generando 18 unidades experimentales con nueve plantas de cacao cada una (que fueron sorteadas de forma aleatoria, identificadas y rotuladas). En total se evaluaron 162 plantas en el ensayo. El área ocupada por unidad experimental fue de 144 m<sup>2</sup>, y el área total de la investigación fue de 2.592 m<sup>2</sup>. Se trabajó con un Diseño de Bloques Completos al Azar [DBCA].



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de estudio y características agroecológicas del sitio.

*Figure 1.* Location of the study area and agroecological characteristics of the site.

**Tabla 1.** Plan de fertilización de suelo para el cultivo de cacao de la investigación.

*Table 1.* Soil fertilization plan for the cocoa crop plantation used in this research.

Elemento	Contenido del suelo (Sin fertilización)	Requerimiento del cultivo (Mite Vivar, 2016)	Aplicación	
			1° 40% al inicio de la época lluviosa (diciembre)	2° 60% (junio)
Kg ha <sup>-1</sup>				
Nitrógeno (N)	21,0	150,0	60,0	90,0
Fósforo (P)	15,7	50,0	20,0	30,0
Potasio (K)	112,0	125,0	50,0	75,0
Magnesio (Mg)	102,0	40,0	20,0	20,0
Azufre (S)	9,4	60,0	20,0	40,0

## 2.2. Toma de muestras

En cada una de las unidades experimentales o parcelas, sobre las nueve plantas seleccionadas, se realizó la siguiente manipulación:

- Se retiró la hojarasca que se encontraba en la zona superficial del suelo, a 1 m de distancia del tallo de la planta de cacao, donde se tomaron tres submuestras de suelo (ubicación al azar), que fueron extraídas hasta una profundidad de 10 cm;
- Se reunieron todas las submuestras de cada repetición (obteniendo cuatro muestras por tratamiento), se homogenizó y se tomó una proporción de 200 g de cada muestra y se colocó en bolsas ziploc selladas y rotuladas.
- Estas fueron transportadas al laboratorio en un *cooler* (conservando una temperatura homogénea), para proporcionar estabilidad en las condiciones ambientales en las que se encontraban los microorganismos.

Las muestras fueron entregadas al siguiente día a los laboratorios de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria [INIAP]. Los análisis se realizaron en cinco ocasiones. La primera recolecta de muestras se realizó un día antes de iniciar el ensayo (antes del control de

malezas – día 0). Posterior a esto, se tomaron las muestras cada 28 días (día 28, 56, 84 y 112), siempre un día después de la aplicación de los controles de maleza. Las variables medidas fueron: desarrollo poblacional de microorganismos rizósferos, identificación morfológica del género de los hongos más representativos, y desarrollo poblacional de los hongos identificados en las muestras. Los análisis de estas variables se relacionaron con el tiempo (día de observación) y el tipo de control de malezas (tratamiento aplicado).

### 2.3. Evaluación en laboratorio

Los análisis fueron realizados por los técnicos a cargo de los laboratorios de INIAP. Cabe considerar que esta entidad maneja sus propios protocolos, que en este caso se utilizó como referencia el “Manual para la producción de hongos entomopatógenos y análisis de calidad de bioformulados” (Hidalgo y Tello, 2022).

Inicialmente se aplicó el método de dilución, que consistió en pesar 10 g de suelo fresco (evitando grumos, hojarasca, piedras, etc.), y mezclarlo con 90 ml de agua destilada estéril (muestra madre). A partir de esta solución, se tomó 1 ml (Factor de Dilución [FD]– veces que se repite la acción) y se colocó en un tubo que contenía 9 ml de agua estéril, esto se realizó en cuatro ocasiones, para llegar a una dilución serial de  $10^{-4}$ .

La última dilución se sembró en cajas Petri con medios de cultivo a base de Agar Papa Dextrosa [PDA], utilizando 0,1 ml de la dilución distribuida por extensión. Las cajas se incubaron a 30 °C por siete días. Finalmente, para cuantificar la concentración de microorganismos rizósferos, se utilizó la fórmula en donde se determina que UFC ml<sup>-1</sup> es igual a: el número de colonia por el FD; dividido para el volumen de siembra.

Para identificar el género de los hongos se realizó una caracterización morfológica macroscópica y microscópica, mediante la observación de forma, color, tamaños y forma de las colonias de las esporas. A la vez, se contrastaron los resultados con las claves dicotómicas para la identificación de hongos aislados de la Sociedad Española de Microbiología (2014).

### 2.4. Análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante la herramienta estadística Tinn-R. Se realizó un análisis de varianza [ANOVA], y se aplicó la prueba de medias de Tukey al 5%, para identificar diferencias estadísticas entre los tratamientos, y la relación existente entre los mismos. En los resultados de desarrollo poblacional se graficaron líneas de tendencia lineal, y se extrajeron las ecuaciones del gráfico y el valor de R<sup>2</sup>.

## 3. Resultados y Discusión

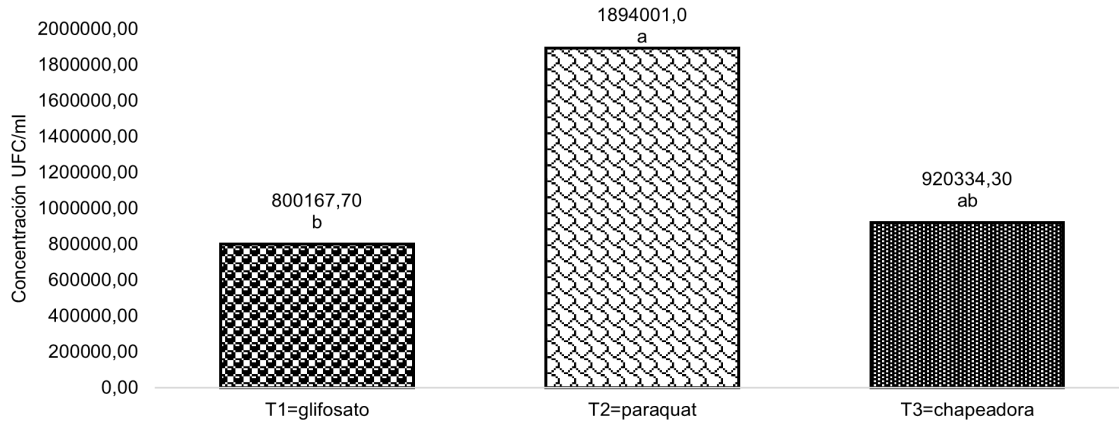
Al comparar los tratamientos mediante ANOVA, solo se identificaron diferencias significativas frente a los 28 días de observación, mientras que, en las cuatro observaciones restantes, las poblaciones de los microorganismos rizósferos fueron similares, como se observa en la Tabla 2.

**Tabla 2.** P-valor de los tratamientos según los días de observación.

**Table 2.** P-value of the treatments according to days of observation.

	Días de observación				
	0	28	56	84	112
P-valor	0,1504	0,0269	0,2882	0,5082	0,6798

Al aplicar la prueba de medias de Tukey para los tratamientos aplicados en el día 28 de observación, se pudo evidenciar que el control de malezas realizado con el herbicida de contacto paraquat permitió un mayor crecimiento de microorganismos rizósferos en relación con los otros tratamientos. Es posible confirmar que la población de microorganismos presentes en el suelo, al aplicar un herbicida de contacto es mayor, en comparación a cuando se realiza un control de maleza mecánico (chapeadora) o sistémico (glifosato). Cabe indicar que el control mecánico presenta una población de microorganismos intermedia entre glifosato y paraquat (Figura 2).



**Figura 2.** Prueba de medias de Tukey en cuanto a los tipos de control de malezas (día 28).\*

**Figure 2.** Tukey's Test of means over the types of weed control (day 28).\*

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes. / Means with a common letter are not significantly different

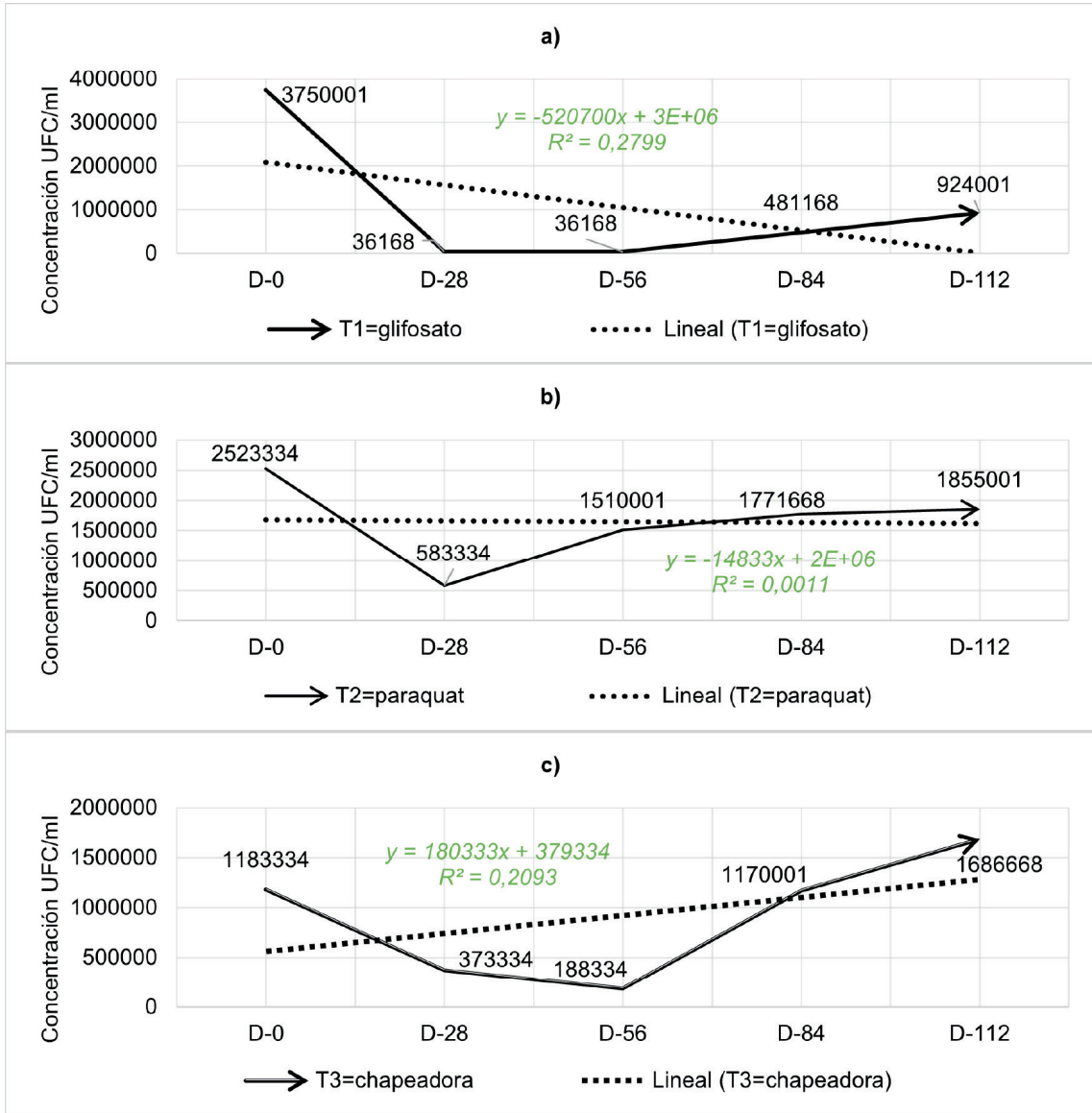
Estos resultados son confirmados por Shan et al. (2021) quienes argumentan que la presencia elevada de microorganismos en el suelo es consecuencia de que los herbicidas de contacto, como el paraquat, ejercen sus funciones específicamente en la planta, pues este tiene su movilidad limitada, que impide que ejerza funciones en el suelo (Klein y McClure, 2022). De la misma manera, Mookodi et al. (2023) mencionan que un herbicida de contacto no se transloca dentro de una planta, por ello, solo se afecta el lugar específico donde reposa.

Por otra parte, se estableció que el glifosato, usado como un control de malezas (agroquímico), restringe en mayor proporción el crecimiento de microorganismos en el suelo ( $800.167,70 \text{ UFC ml}^{-1}$ ), como se puede observar en la Figura 2. En este caso, el glifosato al ser aplicado como un herbicida tiene varias consecuencias negativas, afectando la concentración de hongos (Mesnage et al., 2020). Según Garcia-Muñoz et al. (2020), la inhibición del desarrollo de las especies fúngicas son el resultado de la toxicidad del suelo debido al uso inapropiado de este herbicida sistémico, que tiene un transporte libre en toda la planta. Los resultados de la presente investigación se soportan con lo reportado por la Cecilia y Maggi (2020), quienes afirman que para poder conservar y proteger el agroecosistema es necesario tener precaución sobre el efecto tóxico que ocasiona el glifosato, especialmente ante las especies fúngicas asociadas al suelo, pues está confirmado que este puede causar una reducción de hasta el 40% de la población de micorrizas en la superficie del suelo (González-Ortega y Fuentes-Ponce, 2022).

Al evaluar el comportamiento poblacional o concentración de los microorganismos rizósferos, se identificó que el glifosato (Figura 3a) inicia su función con la población de microorganismos más elevada ( $3.750.001 \text{ UFC ml}^{-1}$ ) entre todos los tratamientos. Sin embargo, decae de manera drástica ( $36.168 \text{ UFC ml}^{-1}$ ) en el día 28 de observación, y culmina su desarrollo poblacional como el tratamiento con menor concentración de microorganismos. Se distingue también un ritmo de crecimiento constante con una tendencia lineal negativa sobre la población de microorganismos asociados a suelos tratados con glifosato.

Por otro lado, en el tratamiento con el herbicida de contacto paraquat se logró evidenciar una elevada disminución de la población de microorganismo en el día 28 de observación (de  $2.523.334$  a  $583.334 \text{ UFC ml}^{-1}$ ). Esto es contrastado en las siguientes observaciones, pues desde el día 56 aumenta, aunque levemente, la población de microorganismos rizósferos. En este caso, se puede evidenciar una tendencia leve de crecimiento poblacional lineal más equilibrada con una orientación futura de incremento poblacional, como se aprecia en la Figura 3b.

Se debe tomar en cuenta que, la variación de las poblaciones en los microorganismos rizósferos, puede justificarse con la eficacia de los herbicidas. En este aspecto el glifosato y el paraquat tienen una eficacia de 94 y 78% en el control de malezas, respectivamente (Mookodi et al., 2023). El glifosato al ser no selectivo ejerce su efecto en mayor cantidad de plantas, generando un área con menor cantidad de población herbácea, dando como resultado una superficie más expuesta al medio, con mayor probabilidad de tener variaciones en las propiedades originales del suelo, que se contrasta con el modo de acción de un herbicida de contacto (Picholi et al., 2024). Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Singh et al. (2024) quienes indican que el glifosato, en comparación con paraquat, es el herbicida que tiene mayor efecto nocivo en los cultivos con producción subterránea, es decir, sus efectos dañinos son elevados en el suelo.



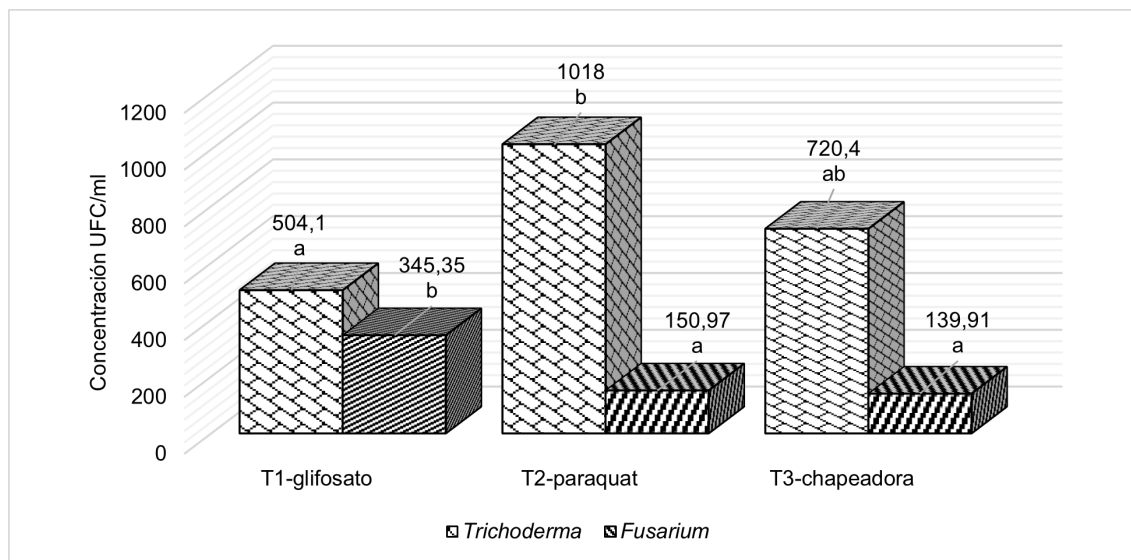
**Figura 3.** Desarrollo poblacional de los microorganismos rizósferos durante el periodo de evaluación, considerando los tratamientos establecidos.  
**Figure 3.** Population development of rhizosphere microorganisms during the assessment period, considering the established treatments.

El control de malezas mecánico (chapeadora) demostró una línea de tendencia positiva, es decir este tratamiento conserva una orientación a incrementar de forma proporcional a futuro la población de microorganismo rizósferos. La población inicial de microorganismo fue de 1.183.334 UFC ml<sup>-1</sup>, su mayor decrecimiento se generó en el día 56, pues su población paso a contener 188.334 UFC ml<sup>-1</sup>. Sin embargo, la concentración de dichos microorganismos en el último día de observación fue de 1.686.668 UFC ml<sup>-1</sup>, incrementándose en comparación con la concentración inicial la población de microorganismos (Figura 3c). Este aumento en la población de microorganismos rizósferos puede ser una consecuencia directa de la presencia de rastros no intoxicados, que al estar en contacto con el suelo, y realizar una descomposición y mineralización de los residuos, tiende a mejorar las propiedades y riquezas del suelo, favoreciendo la presencia de microorganismos (Aduov et al., 2020). A su vez, el incremento de esta población podría estar asociado a lo indicado por Aguilar-Bustamante (2013), quien afirma que luego del día 56 se genera una descomposición total de las malezas, por lo cual existe mayor acumulación y aprovechamiento de residuos orgánicos, para mejorar las propiedades del suelo, y por ende su microfauna.

Al identificar el género de los microorganismos presentes en el suelo del cultivo de cacao se obtuvo la presencia mayoritaria de *Trichoderma* (Hongo benéfico que evita enfermedades y fortalece el sistema inmune en las plantas) y *Fusarium* (Hongo fitopatógeno que causa enfermedades en las plantas), por lo cual se analizó de forma separada el desarrollo poblacional de estos.

Al evaluar la significancia de los hongos con relación a los días de observación, esta fue positiva en los dos microorganismos identificados (*Trichoderma*, P-valor = 0,027, y *Fusarium*, P-valor = 0,0139). Al realizar una comparación entre los tratamientos destinados a controlar malezas, la presencia de microorganismos rizósferos en el cultivo de cacao tuvo diferencia significativa, tanto para el hongo *Trichoderma* (P-valor = 0,0246) como para *Fusarium* (P-valor = 0,0001).

Dentro del mismo contexto, en la Figura 4 se visualiza que el control de malezas, aplicando el herbicida de contacto paraquat, permite una mayor concentración de *Trichoderma* en el cultivo de cacao (1.018 UFC ml<sup>-1</sup>). A pesar de que este producto es un agroquímico, permitió mayor población del hongo benéfico en comparación con el tratamiento en donde se utilizó la chapeadora, reconocida como una herramienta perteneciente a la agricultura orgánica. En contraste a dicho resultado, se identificó al glifosato como el tratamiento que permite menor desarrollo poblacional del mencionado hongo.



**Figura 4.** Prueba de medias de Tukey comparando los hongos evaluados y el control de malezas aplicado (tratamientos).\*

**Figure 4.** Tukey's test of Means comparing the fungi evaluated and the applied weed control (treatments).\*

\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes. / Means with a common letter are not significantly different.

Por otra parte, el hongo fitopatógeno *Fusarium* tuvo mayor concentración (345,35 UFC ml<sup>-1</sup>) en los suelos con control de malezas en donde se utilizó glifosato, mientras que en los controles en los que se aplicó paraquat-herbicida y chapeadora-mecánico mantuvieron una población menor, y sin diferencia significativa entre ellos (Figura 4).

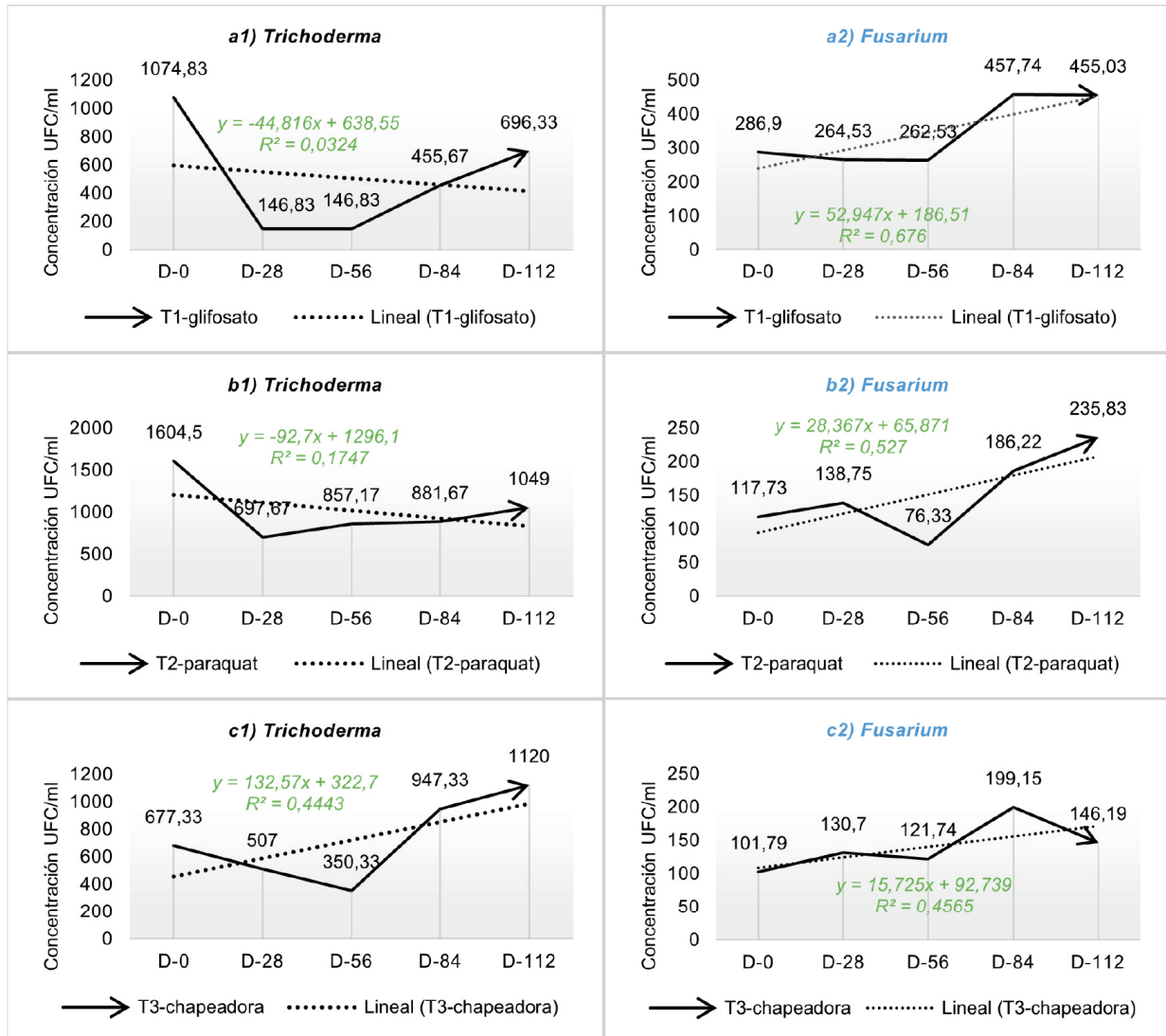
De manera general, se confirma que la presencia de *Trichoderma* en el suelo tiene un efecto protector ante la zona radicular de la planta, y a la vez posee un aspecto aislante de hongos patógenos, que genera un comportamiento contradictorio de desarrollo entre este hongo y los agentes infecciosos presentes en el suelo (de Sousa et al., 2021). Esta acción es confirmada en la Figura 4, donde se observa que existe un crecimiento proporcional negativo entre *Trichoderma* y *Fusarium*, es decir, cuando uno aumenta su población, el otro la disminuye; generándose los mejores resultados en el control aplicando paraquat.

En conclusión, el uso de herbicidas tiene un efecto en el contenido de microorganismos benéficos en el suelo según sea su modo de acción. El herbicida sistémico inhibe el crecimiento de *Trichoderma* y el herbicida de contacto lo fortalece, actuando de forma contraria en el caso de *Fusarium*. Chóez-Guaranda et al. (2023) reportan resultados similares, y afirman que las concentraciones altas del primero inhiben el desarrollo del segundo. Así mismo, Nurlaila et al. (2020) señalan que en el cultivo de cacao la presencia en grandes proporciones de *Trichoderma* en las raíces genera resistencia sobre patógenos como *Fusarium*, y asegura resistencia contra enfermedades, que a la vez incrementa los niveles de producción. Esto permite confirmar que el control de malezas aplicando paraquat es más beneficioso en cuanto a la protección para los microorganismos fúngicos del suelo.

Al tomar en cuenta el tratamiento donde se utiliza glifosato, se evidencia en el día 28 de evaluación una drástica caída en la población de *Trichoderma* en su concentración (Figura 5a1), aunque luego del día 56 se inició un progresivo aumento en la concentración, dando como resultado final una diferencia negativa de 378,5



UFC ml<sup>-1</sup>, en comparación con la población inicial. En este caso, y de manera general, la línea de tendencia fue negativa y cercana a reflejar un equilibrio de la población con un valor de  $R^2$  de 0,0324. Mientras que, en la concentración de *Fusarium* se generó el aumento de casi el doble de la población inicial (168,13 UFC ml<sup>-1</sup>) (Figura 5a2), manteniendo una tendencia lineal con orientación a incrementar su proporción ( $R^2 = 0,676$ ).



**Figura 5.** Desarrollo poblacional de los microorganismos rizósferos durante el periodo de evaluación, considerando los hongos identificados y el tratamiento aplicado.

**Figure 5.** Population development of rhizosphere microorganisms during the assessment period, considering the identified fungi and the treatment applied.

En el tratamiento aplicando el herbicida paraquat, *Trichoderma* al inicio reduce su población el día 28 (Figura 5b1), posteriormente se incrementa de forma proporcional. La variación de la población entre la primera y última observación fue de 555,5 UFC ml<sup>-1</sup>, que ocasionó una tendencia lineal negativa ( $R^2 = 0,1747$ ). Por el contrario, *Fusarium* evidenció un crecimiento exponencial positivo (Figura 5b2), incrementando su población en una proporción de 118,10 UFC ml<sup>-1</sup>, es decir más del doble de la concentración inicial del hongo. En el tratamiento que utiliza paraquat para controlar las malezas se observó una tendencia orientada a replicar los resultados ( $R^2 = 0,527$ ).

Finalmente, al considerar el crecimiento poblacional de *Trichoderma* en el tratamiento que utiliza como control de malezas la chapeadora existe una reducción de la población hasta el día 56 (Figura 5c1). Sin embargo, en el día 84 esta se eleva en grandes proporciones (597 UFC ml<sup>-1</sup>), manteniendo una población final de 1.120 UFC ml<sup>-1</sup> (día 112). Esto generó una tendencia lineal positiva de crecimiento poblacional de *Trichoderma*. En la Figura 5c2 se aprecia el crecimiento de *Fusarium* cuando se controla las malezas con chapeadora, siendo el incremento desde la observación inicial hasta la final de 44,4 UFC ml<sup>-1</sup>. Dentro de todos los trata-

mientos es la menos representativa; con una tendencia lineal positiva que asegura un proporcional incremento de dicha población ( $R^2 = 0,4565$ ).

De manera general se identificó que el desarrollo de *Trichoderma* fue positivo en el control mecánico–chapeadora al generarse un incremento de la población de 597 UFC ml<sup>-1</sup>. De forma contraria, los tratamientos con glifosato y paraquat generaron una reducción de 378,5 y 555,5 UFC ml<sup>-1</sup> respectivamente. Es decir que, a pesar de que el glifosato es calificado como el herbicida más dañino, este causa una menor disminución en la población del mencionado hongo en relación con paraquat. En este contexto, se puede afirmar que glifosato es un herbicida que genera beneficios a corto plazo dentro de las plantaciones de cacao, pues al presentar la menor disminución de *Trichoderma* (entre los herbicidas), asegura la traslocación de minerales y disponibilidad de nutrientes para las plantas, además de elevar la productividad del cultivo (Silva et al., 2020), ya que existe una relación positiva entre este hongo y la acción de biocontrol y promotor de crecimiento (Batoool et al., 2020). Dentro del mismo aspecto, Asad (2022) menciona que entre las alternativas ecológicas, el control que logre mayor proporción en la población de *Trichoderma* se establece como la mejor alternativa de manejo, pues este hongo es utilizado de manera amplia para la sostenibilidad de los ecosistemas.

Por otra parte, al evaluar la población del patógeno *Fusarium*, todos los tratamientos tienden a incentivar el incremento de su población. Sin embargo, el menos influyente fue el control de malezas con chapeadora (44,4 UFC ml<sup>-1</sup>), mientras que glifosato y paraquat presentaron un aumento en sus poblaciones de 168,13 y 118,10 UFC ml<sup>-1</sup>, respectivamente.

Conociendo que *Fusarium* es un hongo patógeno que tiende a causar una serie de enfermedades en los cultivos, ocasionando de forma directa grandes pérdidas económicas (Nikitin et al., 2023), se confirma que entre todos los tratamientos, el control con chapeadora es el más recomendado para realizar los controles de malezas. Sin embargo, al comparar el efecto de los herbicidas utilizados, se confirma que paraquat disminuye en mayor proporción el desarrollo de este hongo, ya que actúa como un agente patógeno desde la parte rizosfera de las plantas y provoca varias enfermedades. *Fusarium* forma parte de los cinco hongos fitopatógenos más representativos de los cultivos a nivel mundial (Crous et al., 2021), por lo que los resultados del presente estudio indican que el uso del herbicida paraquat sería el más recomendable dentro del cultivo de cacao para controlar este hongo fitopatógeno.

Cabe considerar que, estudios *in-vitro* realizados por Anderson y Aitken (2021) confirman que al comparar la triple relación, herbicida(glifosato)-planta-*Fusarium*, este agroquímico tiene la capacidad de minimizar la densidad del hongo, incluso con un mejor efecto que al usar Imazetapir (herbicida, sistémico, selectivo). Por el contrario, Warman y Aitken (2018) mencionan que la presencia de *Fusarium* en plantas de plátano, al ser tratadas con herbicidas como glifosato y paraquat permiten una fácil colonización por parte de este hongo, es decir el uso de herbicidas acelera la propagación del hongo patógeno. El último criterio fue confirmado con los datos obtenidos en la presente investigación.

#### 4. Conclusiones

En cuanto al desarrollo poblacional de los microorganismos rizósferos, se logró conocer que el día 28 de observación marca una diferencia entre todas las observaciones, indicando de manera general que la concentración de microorganismos rizósferos aumenta cuando se utiliza el herbicida paraquat, en comparación con glifosato y el control mecánico–chapeadora.

Se logró identificar los microorganismos rizósferos *Trichoderma* (benéfico) y *Fusarium* (patógeno) como los hongos más abundantes dentro del cultivo de cacao. La concentración de *Trichoderma* fue mayor en el tratamiento que utiliza paraquat como control de malezas; seguido por el control mecánico–chapeadora; mientras que la menor población de este hongo se ubicó cuando se utiliza glifosato. Por el contrario, la presencia de *Fusarium* fue mayor en glifosato, mientras que entre paraquat y chapeadora no existieron diferencias significativas.

Finalmente, al evaluar el desarrollo poblacional de los hongos considerando los tratamientos y los días de observación, se confirmó que *Trichoderma* incrementa su población al aplicar los tratamientos, especialmente en el caso del control mecánico con chapeadora, al comparar la concentración inicial con la final. Sin embargo, al analizar el efecto de los herbicidas, se observó que el glifosato disminuye la concentración de *Trichoderma* en menor medida que el paraquat. Por otro lado, ambos herbicidas favorecen el desarrollo de *Fusarium*, aunque paraquat lo hace en menor proporción. Además, el uso de paraquat promueve la presencia de *Trichoderma*.

## Contribuciones de los autores

- Eduardo Patricio Vaca Pazmiño: conceptualización análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, redacción – revisión y edición.
- Milton Vinicio Uday Patiño: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, supervisión, validación, visualización, redacción – revisión y edición.
- Dennis Vinicio Uday Ortega: conceptualización, análisis formal, investigación, administración del proyecto, supervisión, visualización, validación, visualización, redacción – revisión y edición.
- Rocío Noemí Guamán Guamán: conceptualización análisis formal, investigación, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, visualización, curación de datos, redacción – revisión y edición.
- Ángel Fabián Villavicencio Abril: conceptualización, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.
- Santiago Miguel Ulloa Cortázar: conceptualización, curación de datos, software, metodología, recursos, redacción – revisión y edición.

## Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

## Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

## Referencias

- Aborissade, W. T., y Atuanya, E. I. (2020). Effects of an organochlorine and pyrethroid pesticide formulation on soil's culturable microbial population. *International Journal of Technical Research & Science*, 05(01), 13-24. <https://doi.org/10.30780/IJTRS.V05.I01.003>
- Aduov, M., Nukusheva, S., Kaspakov, E., Isenov, K., Volodya, K., y Tulegenov, T. (2020). Seed drills with combined coulters in No-till technology in soil and climate zone conditions of Kazakhstan. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 70(6), 525-531. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1784994>
- Aguilar-Bustamante, V. (2013). Análisis de datos de ensayos de descomposición y mineralización de residuos de malezas en café usando canastas. *La Calera*, 13(21), 115-120. <https://doi.org/10.5377/calera.v13i21.1681>
- Alarcon, J., Recharte, D., Yanqui, F., Moreno, S., y Buendía, M. (2020). Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67-73. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>
- Anderson, J., y Aitken, E. (2021). Effect of in planta treatment of 'cavendish' banana with herbicides and fungicides on the colonisation and sporulation by *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense subtropical race 4. *Journal of Fungi*, 7(3), 184. <https://doi.org/10.3390/jof7030184>
- Asad, S. A. (2022). Mechanisms of action and biocontrol potential of *Trichoderma* against fungal plant diseases - A review. *Ecological Complexity*, 49, 100978. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100978>
- Batool, R., Umer, M. J., Wang, Y., He, K., Zhang, T., Bai, S., Zhi, Y., Chen, J., y Wang, Z. (2020). Synergistic effect of *Beauveria bassiana* and *Trichoderma asperellum* to induce maize (*Zea mays* L.) defense against the asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera, Crambidae) and larval immune response. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 8215. <https://doi.org/10.3390/ijms21218215>
- Bertola, M., Ferrarini, A., y Visioli, G. (2021). Improvement of Soil Microbial Diversity through Sustainable Agricultural Practices and Its Evaluation by -Omics Approaches: A Perspective for the Environment, Food Quality and Human Safety. *Microorganisms*, 9(7), 1400. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071400>
- Caicedo Amazo, L. M. (2021). *Evaluación de los principales impactos ambientales del uso del Glifosato como*

- agente plaguicida de cultivos ilícitos en zonas rurales del país. Fundación Universidad de América. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8740>
- Chóez-Guaranda, I., Espinoza-Lozano, F., Reyes-Araujo, D., Romero, C., Manzano, P., Galarza, L., y Sosa, D. (2023). Chemical characterization of *Trichoderma* spp. extracts with antifungal activity against cocoa pathogens. *Molecules*, 28(7), 3208. <https://doi.org/10.3390/molecules28073208>
- Crous, P. W., Lombard, L., Sandoval-Denis, M., Seifert, K. A., Schroers, H.-J., Chaverri, P., Gené, J., Guarro, J., Hirooka, Y., Bensch, K., Kema, G. H. J., Lamprecht, S. C., Cai, L., Rossman, A. Y., Stadler, M., Summerbell, R. C., Taylor, J. W., Ploch, S., Visagie, C. M., ... y Thines, M. (2021). *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. *Studies in Mycology*, 98, 100116. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2021.100116>
- Cruz Cárdenas, C. I., Zelaya Molina, L. X., Sandoval Cancino, G., de los Santos Villalobos, S., Rojas Anaya, E., Chávez Díaz, I. F., y Ramírez, S. R. (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 Sousa, W. N., Brito, N. F., Felseburgh, C. A., Vieira, T. A., y Lustosa, D. C. (2021). Evaluation of *Trichoderma* spp. isolates in cocoa seed treatment and seedling production. *Plants*, 10(9), 1964. <https://doi.org/10.3390/plants10091964>
- García Vidal, G., Guzmán Vilar, L., y Pérez Campdesuñer, R. (2017). Tendencias de la investigación del cacao: oportunidades para la investigación en Santo Domingo de los Tsáchilas. *SATHIRI*, 12(2), 24-45. <https://doi.org/10.32645/13906925.105>
- García-Briones, A., Pico-Pico, B., y Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Novasinerгия*, 4(2), 152-172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- García-Muñoz, P., Dachtler, W., Altmayer, B., Schulz, R., Robert, D., Seitz, F., Rosenfeldt, R., y Keller, N. (2020). Reaction pathways, kinetics and toxicity assessment during the photocatalytic degradation of glyphosate and myclobutanil pesticides: Influence of the aqueous matrix. *Chemical Engineering Journal*, 384, 123315. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123315>
- González-Ortega, E., y Fuentes-Ponce, M. (2022). Dinámica del glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38(1), 127-144. <https://doi.org/10.20937/rica.54197>
- Granda Mora, K. I., Araujo-Abad, S., Collahuazo-Reinoso, Y., López Salas, Y., Jaen Rigaud, X., Robles-Carrión, Ángel, y Urgiles-Gómez, N. (2021). Caracterización morfológica y fisiológica de microorganismos rizosféricos nativos de sistemas agroforestales de café. *Bosques Latitud Cero*, 10(2), 124-136. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/832>
- Guamán Guamán, R. N., Desiderio Vera, T. X., Villavicencio Abril, Á. F., Ulloa Cortázar, S. M., y Romero Salguero, E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 047-056. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>
- Hidalgo, D., y Tello, C. (2022). *Manual para la producción de hongos entomopatógenos y análisis de calidad de bioformulados*. Manual N° 128. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5950>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2022). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2021. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-superficie-produccion-agropecuaria-continua-2021/>
- Klein, R., y McClure, G. (2022). *2022 Nebraska Crop Budgets*. EC872. Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska. <https://cap.unl.edu/sites/unl.edu/ianr.agecon.center-for-ag-profitability/files/media/file/2022-nebraska-crop-budgets-010322%20%281%29.pdf>
- la Cecilia, D., y Maggi, F. (2020). Influential sources of uncertainty in glyphosate biochemical degradation in soil. *Mathematics and Computers in Simulation*, 175, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2020.01.003>
- MacLaren, C., Storkey, J., Menegat, A., Metcalfe, H., y Dehnen-Schmutz, K. (2020). An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(4), 24-37. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00631-6>
- Mandal, A., Sarkar, B., Mandal, S., Vithanage, M., Patra, A. K., y Manna, M. C. (2020). Impact of agrochemicals on soil health. In M. N. V. Prasad (ed.), *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation* (pp. 161-187). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00007-6>

- Meena, R., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., Sharma, M., Yadav, G., Jhariya, M., Jangir, C., Pathan, S., Dokulilova, T., Pecina, V., y Marfo, T. (2020). Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review. *Land*, 9(2), 34. <https://doi.org/10.3390/land9020034>
- Mesnager, R., Oestreicher, N., Poirier, F., Nicolas, V., Boursier, C., y Vélot, C. (2020). Transcriptome profiling of the fungus *Aspergillus nidulans* exposed to a commercial glyphosate-based herbicide under conditions of apparent herbicide tolerance. *Environmental Research*, 182, 109116. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109116>
- Mite Vivar, F. A. (2016). *Fertilización del cultivo de cacao Theobroma cacao L.* INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3524>
- Montero Rojas, M. (2018). Consecuencias ambientales y riesgos para la salud causados por el plaguicida Paraquat en Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 18(30), 56-66. <https://doi.org/10.15517/pa.v18i30.33812>
- Mookodi, K. L., Spackman, J. A., y Adjesiwor, A. T. (2023). Urea ammonium nitrate as the carrier for pre-plant burndown herbicides. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 6(3). <https://doi.org/10.1002/agg2.20404>
- Morocho, M. T., y Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. <http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-46-2019/no-2-abr-jun-2019/1155-microorganismos-eficientes-propiedades-funcionales-y-aplicaciones-agricolas>
- Nikitin, D. A., Ivanova, E. A., Semenov, M. v., Zhelezova, A. D., Ksenofontova, N. A., Tkhakakhova, A. K., y Kholodov, V. A. (2023). Diversity, Ecological characteristics and identification of some problematic phytopathogenic *Fusarium* in soil: A review. *Diversity*, 15(1), 49. <https://doi.org/10.3390/d15010049>
- Nurlaila, N., Rosmana, A., y Dewi, V. S. (2020). The capability of *Trichoderma asperellum* in suppressing vascular streak diseases on five different cocoa clones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 486(1), 012158. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/486/1/012158>
- Picholi, T., Colmán, P., Peralta Paiva, E., Melgarejo, M., Amarilla, D., y Maidana Chávez, E. (2024). Eficiencia de herbicidas de diferentes modos de acción para el control de la *Conyza sumatrensis* en post cosecha de maíz. *Bioagro*, 36(2), 155-162. <https://doi.org/10.51372/bioagro362.3>
- Rosabal Ayan, L., Macías Coutiño, P., Maza González, M., López Vázquez, R., y Guevara Hernández, F. (2021). Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. *Magna Scientia UCEVA*, 1(1), 104-117. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a14>
- Saad, M. M., Eida, A. A., y Hirt, H. (2020). Tailoring plant-associated microbial inoculants in agriculture: a roadmap for successful application. *Journal of Experimental Botany*, 71(13), 3878-3901. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa111>
- Shan, C., Wang, G., Wang, H., Xie, Y., Wang, H., Wang, S., Chen, S., y Lan, Y. (2021). Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(1), 74-81. <https://doi.org/10.25165/ijabe.20211401.6129>
- Silva, J. B. T. da, Marques, E., Menezes, J. E., Silva, J. P. da, y Mello, S. C. M. de. (2020). Population density of *Trichoderma* fungi in natural environments and agrosystems of a Cerrado area. *Biota Neotropica*, 20(4). <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2020-1048>
- Singh, N., Daramola, O. S., Iboyi, J. E., y Devkota, P. (2024). Peanut (*Arachis hypogaea* L.) response to low-rate applications of selected herbicides at vegetative and reproductive growth stages. *Agronomy Journal*, 116(2), 478-488. <https://doi.org/10.1002/agg2.21540>
- Sociedad Española de Microbiología (2014). Clave dicotómica para la identificación de hongos aislados sistemáticamente en ambientes mediterráneos. *SEM@foro*, (57), 70-71. <https://www.sem microbiologia.org/revista-semaforo/junio-2014>
- Soria, M. (2016). ¿Por qué son importantes los microorganismos del suelo para la agricultura? *Química Viva*, 15(2), 3-10. <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v15n2/E0037.html>
- Stuart, A. M., Merfield, C. N., Horgan, F. G., Willis, S., Watts, M. A., Ramírez-Muñoz, F., U, J. S., Utyasheva, L., Eddleston, M., Davis, M. L., Neumeister, L., Sanou, M. R., y Williamson, S. (2023). Agriculture without paraquat is feasible without loss of productivity—lessons learned from phasing out a highly hazardous herbicide. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(7), 16984-17008. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24951-0>
- Suárez Escobar, A. F., Guevara Correa, D., Méndez Quintero, M. C., Mendoza Abella, J. F., y Álvarez Cabrera, J. A. (2019). Evaluación de un reactor para la degradación fotocatalítica de glifosato empleando un catali-

zador de TiO<sub>2</sub>-Mn. *Revista Colombiana de Química*, 48(3), 19-25. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n3.76918>

Tetteh, D. A., y Amos, I. (2024). Effect of land use on soil macrofauna in Southern Ghana. *Biodiversity*, 25(3), 237-242. <https://doi.org/10.1080/14888386.2024.2342311>

Warman, N. M., y Aitken, E. A. B. (2018). The Movement of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Sub-Tropical Race 4) in Susceptible Cultivars of Banana. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1748. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01748>

Waseem, R., Mwalupaso, G. E., Waseem, F., Khan, H., Panhwar, G. M., y Shi, Y. (2020). Adoption of sustainable agriculture practices in banana farm production: A study from the Sindh Region of Pakistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 3714. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103714>