

## El género *Trichoderma* en fincas de café con diferente tipo de manejo y estructura vegetal en el centro del estado de Veracruz, México

Rosa María Arias Mota<sup>1\*</sup> , Gabriela Heredia Abarca<sup>2</sup> .

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior de Xalapa. Reserva Territorial SN, Col. Santa Bárbara, Xalapa, Veracruz, México. <sup>2</sup>Instituto de Ecología A.C, Xalapa. km 2.5 antigua carr. a Coatepec 361 Congregación el Haya.

\*Email autor corresponsal: [\\*rosa.am@xalapa.tecnm.mx](mailto:rosa.am@xalapa.tecnm.mx)

**Recibido:** 16 octubre 2021. **Aceptado:** 25 noviembre 2021

### RESUMEN

**Antecedentes:** Diversos factores tanto bióticos como abióticos afectan a las poblaciones y diversidad de comunidades microbianas en los agroecosistemas, tales como la diversidad de especies vegetales, competencia microbiana, propiedades físico-químicas de los suelos, aplicación de pesticidas y/o fertilizantes, así como la región geográfica. **Objetivo:** Comparar la abundancia de colonias, la riqueza y diversidad de especies del género *Trichoderma* en cafetales con diferente tipo de manejo y estructura biofísica de la vegetación en el centro del estado de Veracruz. **Métodos:** Las colonias de *Trichoderma* fueron aisladas de 5 fincas cafetaleras mediante la técnica de lavado de partículas de suelo; la determinación taxonómica de las especies se llevó mediante caracteres morfológicos; para cada finca se calculó la abundancia y riqueza de las especies de *Trichoderma* y los índices de diversidad, equitatividad y dominancia. La relación entre el manejo agronómico y las características edáficas con las poblaciones de *Trichoderma* se analizaron mediante pruebas de regresión lineal. **Resultados y discusión:** Para esta región cafetalera se aislaron 87 colonias de *Trichoderma*, ubicadas dentro de 12 especies diferentes, cuatro de las cuales ya había sido reportadas en rizosfera de café. La abundancia, riqueza y diversidad de especies fueron muy parecidas en todos los cafetales, ya que no se observaron diferencias significativas entre ellos. La abundancia de las especies de *Trichoderma* se relacionó de manera significativa con el índice de manejo que reciben los cafetales y la riqueza específica con el contenido de fósforo de los suelos de los cafetales.

**Palabras clave:** *Trichoderma*; cafetales; tipo manejo; estructura de la vegetación; propiedades fisicoquímicas del suelo.

## ABSTRACT

**Background:** Biotic and abiotic factors affect the populations and diversity of microbial communities in agroecosystems, such as the diversity of plant species, microbial competition, physical-chemical properties of soils, application of pesticides and / or fertilizers, as well as the geographic region. **Objective:** To compare the abundance of colonies, the richness and diversity of species of the genus *Trichoderma* in coffee plantations with different types of management and biophysical structure of the vegetation in the center of the state Veracruz. **Methods:** *Trichoderma* colonies were isolated from 5 coffee farms using the soil particle washing technique; the taxonomic determination of the species was carried out by morphological characters; for each farm, the abundance and richness of *Trichoderma* species and the diversity, fairness and dominance indices were calculated. The relationship between agronomic management and edaphic characteristics with *Trichoderma* populations was analyzed using linear regression. **Results and discussion:** For this coffee region, 87 *Trichoderma* colonies were isolated, within 12 different species, 4 of which had already been reported in the coffee rhizosphere. The abundance, richness and diversity of species were very similar in all coffee plantations, since no significant differences were observed between them. The abundance of *Trichoderma* species was significantly related to the management index received by the coffee plantations and the specific richness with the phosphorus content of the coffee plantation soils.

**Keywords:** *Trichoderma*; Coffee plantations; management; vegetation structure; physicalchemical.

## INTRODUCCIÓN

*Trichoderma* constituye uno de los géneros con mayor distribución y dominancia tanto en suelos agrícolas como en áreas naturales. Agrupa alrededor de 438 especies de micromicetos filamentosos anamorfos los cuales se ubican en la familia Hypocreaceae dentro de la clase Ascomycetes [1]. Por la gran cantidad de registros de las especies de *Trichoderma* en todo tipo de ecosistemas, se considera que su distribución es cosmopolita [2, 3].

La abundancia de especies de *Trichoderma* en

los suelos, es una evidencia de su plasticidad ecológica y su habilidad para competir por espacio y recursos nutricionales. La rápida tasa de crecimiento de sus colonias, su abundante esporulación, la amplia gama de enzimas que pueden sintetizar, así como la producción de diversas micotoxinas, ubican a las especies del género *Trichoderma* como hongos con una alta capacidad saprofítica competitiva [4].

En la última década se ha extendido exitosamente el empleo de especies de *Trichoderma* para el control de enfermedades agrícolas [5]. Se ha comprobado que la especie

*T. aureoviride* pueden proporcionar otro tipo de beneficios a los cultivos, entre los cuales está la solubilización de fosfatos de calcio y hierro [6], los cuales son vitales para el metabolismo vegetal [7, 8] y la producción de metabolitos y hormonas de crecimiento (auxinas, giberelinas y citoquininas) que estimulan la germinación y el desarrollo de las plantas [9, 10, 11].

Por las características mencionadas, el manejo de las especies de *Trichoderma* es una alternativa promisoría para disminuir la aplicación de productos químicos que pueden ocasionar daños ambientales y a la salud del hombre y animales domésticos. Así mismo es necesario contar con productos biológicos que apoyen el desarrollo de los cultivos orgánicos, para que el agricultor pueda optar por mejores precios en el comercio internacional.

El café es uno de los cultivos más importantes en México, constituye el principal producto agrícola de exportación. Su distribución se extiende de 300 hasta 2000 metros sobre nivel del mar (msnm), principalmente en zonas cerriles y montañosas. A nivel mundial durante los años 2018/2019 México se ubicó entre los principales países productores de este cultivo junto con Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia, Honduras, Guatemala y Costa de Marfil [12].

En las fincas cafetaleras de México, de manera general se pueden diferenciar dos principales

modalidades de producción: café bajo sol y café bajo sombra, dentro de este último se han distinguido diferentes sistemas según la densidad y el tipo de especies arbóreas que se utilizan para sombra (las cuales pueden ser elementos nativos de la región o bien especies domesticadas para su comercialización). Otros factores que caracterizan a las fincas cafetaleras son la intensidad en el uso de pesticidas y fertilizantes y la producción y diversidad de productos para autoconsumo [13]. En México, Chiapas es el principal productor de café, entidad que aporta el 39 por ciento del volumen nacional, seguido de Veracruz con el 30 por ciento y Oaxaca con el 13 por ciento; otros importantes estados productores de café son Puebla, Guerrero, Hidalgo, Nayarit y San Luis Potosí [14]. Hasta 2017, los estados de Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Puebla eran los principales estados productores de café orgánico.

Existen pocos estudios a nivel mundial sobre las poblaciones de *Trichoderma* en suelos cafetaleros; sin embargo, los estudios de Okoth *et al.*, [17, 18] en Kenia y Belayneh-Mulaw [19] en Etiopía presentan información relevante sobre las especies de *Trichoderma* en cafeteles. Además, Velmourougane *et al.*, [16] en la India demostraron la dominancia de este género en las plantaciones cafetaleras. Para México; Persiani y Maggy [15] reportaron dos especies de *Trichoderma* (*T. harzinaum* y *T. koningii*) en

un listado de micromicetos de la rizosfera de plantas de café y Arias *et al.*, [20] destacaron a *T. cremeum* y *T. koningi* como especies dominantes de suelos de fincas cafetaleras en el estado de Veracruz.

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la diversidad de especies del género *Trichoderma* y analizar el efecto de la estructura biofísica de la vegetación y el tipo de manejo de los cafetales sobre las especies de este género en una zona cafetalera del centro del estado de Veracruz.

## METODOLOGÍA

### *Zona de estudio*

La zona de estudio se localiza en el centro del estado de Veracruz, México, en la región cafetalera Coatepec-Huatusco, entre los 1000 a 1350 msnm. Los sitios de estudios incluyen cinco fincas cafetaleras con diferente tipo de manejo y estructura de vegetación consistentes en: un monocultivo bajo sol, un monocultivo con sombra especializada, dos policultivos tradicionales (sencillo y diverso) y un sistema rústico (Fig. 1). El clima en el área es semi-tropical, la precipitación media anual es de 1350-2200 mm y la temperatura media anual fluctúa entre 12 y 19 °C; típicamente hay tres estaciones definidas, una relativamente seca y templada que va de octubre-noviembre a marzo

(época de nortes), una estación seca y cálida durante abril y mayo (época de secas) y la estación húmeda y cálida de junio a octubre (época de lluvias) [21]. Los suelos según la clasificación SICS-ISRIC-FAO corresponden a Acrosoles ándicos [22]. Las principales características de los sitios de estudio, las propiedades fisicoquímicas de los suelos, la estructura biofísica de la vegetación y el manejo agrícola se resumen en las tablas 1 y 5.

### *Muestras*

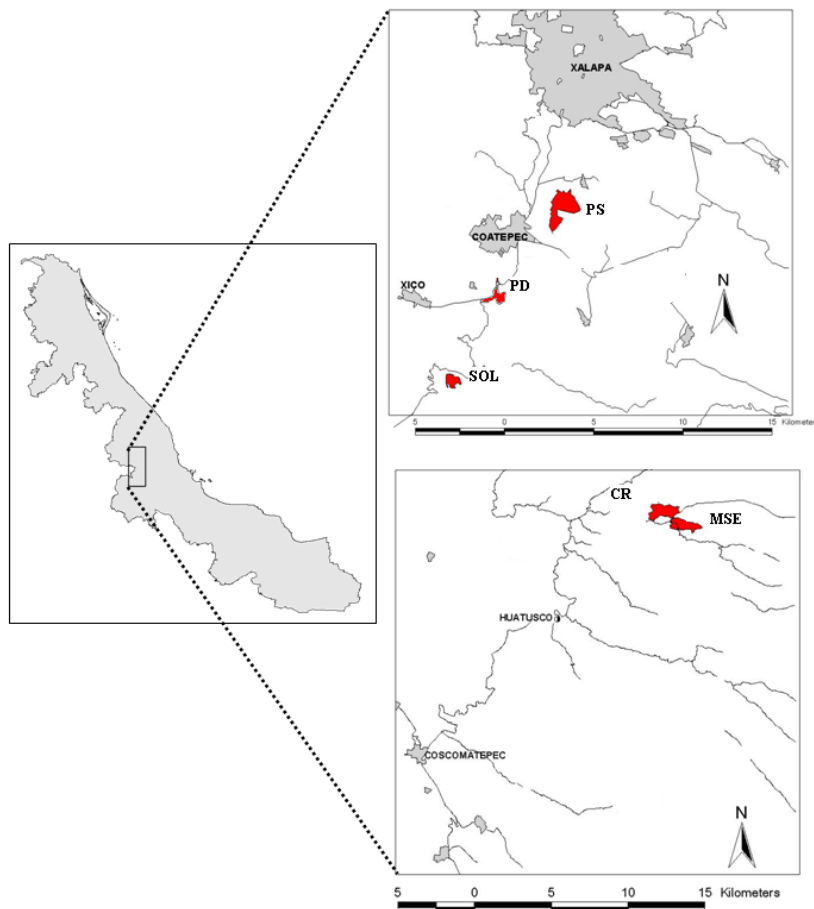
Dentro de cada sitio se tomaron 5 puntos de muestreo, en cada punto se consideró como centro una planta de café, a partir de la cual se definieron 2 ejes de 1 m; uno norte-sur y otro oriente-occidente; en el extremo de cada eje se tomó una muestra de 250 g de suelo a una profundidad de 10 cm. las cuales se mezclaron para obtener una muestra mixta de cada punto. Las muestras de suelo se colectaron en mayo y en septiembre del 2017.

### *Aislamiento, cuantificación e identificación*

Para aislar los hongos se empleó la técnica de filtración de partículas o lavado de suelo a través de un juego de tres micro tamices con aperturas de 1mm (tamiz superior), 210 µm y 105 µm (tamices medio e inferior) [26]. De acuerdo con ensayos previos, los lavados para

cada muestra se ajustaron a 2 litros de agua. Una vez finalizado el lavado, del tamiz con menor abertura se transfirieron las partículas a cajas de Petri estériles con papel filtro para eliminar el exceso de agua. Posteriormente para cada muestra procesada bajo condiciones asépticas se sembraron 50 partículas (5 partículas por placa) en placas de Petri con medio de cultivo Dicloran rosa de Bengala, cloranfenicol, agar (DRBC) el cual contiene antibiótico y rosa de bengala lo que reduce el crecimiento de las colonias fúngicas y facilita

su cuantificación. Las cajas se incubaron a 25 °C y se revisaron a los tres días para iniciar con la detección de las colonias emergentes. Las colonias se cuantificaron y se sembraron en tubos con medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) para su preservación. Previo a la identificación, cada una de las colonias se transfirieron a placas Petri en extracto de malta agar (EMA), avena-agar, maíz-agar y se incubaron a 25 °C durante 5 días; estos medios son útiles para su propagación, diferenciación y para promover su esporulación.



**Figura 1.** Ubicación de los sitios de estudio. Monocultivo bajo sol (SOL), Monocultivo con sombra especializada (MSE), Policultivo simple (PS), Policultivo diverso (PD) y Cafetal rústico (CR).

**Tabla 1.** Información de los sitios de estudio. Precipitación, ubicación, especies arbóreas dominantes, manejo agrícola, índice de estructura biofísica de la vegetación (IEB) e índice de manejo (IM). Los datos de la estructura de las especies arbóreas dominantes y la estructura de la vegetación fueron tomados de Williams-Linera y López [23]. Los datos del manejo agrícola de Contreras y Hernández [24] y la información de IEB y el IM de Hernández Martínez [25].

Sitios de estudio (clave)	Precipitación media (mm) secas/lluvias	Latitud N y Longitud W	Especies arbóreas dominantes	Estructura de la vegetación	Manejo agrícola	IEB	IM
Monocultivo bajo sol (SOL)	309.2 1554.0	19°22'53'' 96°59'17''		No tiene árboles de sombra.	Sin fertilización y el control de malezas con herbicidas y manual.	-0.06	0.34
Monocultivo con sombra especializada (MSE)	275.9 1176.2	19°12'22'' 96°53'4''	<i>Inga vera</i> y <i>Erythrina poeppigiana</i>	13 especies de árboles $\geq 5$ cm DAP.	Fertilización con agroquímicos y abonos naturales; control de malezas con herbicidas y manual	0.27	0.58
Policultivo sencillo (PS)	304.02 1499.3	19°27'59'' 96°56'3''	<i>Inga jinicuil</i> , <i>Inga vera</i> , <i>Citrus</i> spp.	17 especies de árboles $\geq 5$ cm DAP.	Fertilización con agroquímicos y control de malezas con herbicidas	0.58	0.32
Policultivo diverso (PD)	298.2 1477.8	19°25'56'' 96°57'50''	<i>Citrus</i> spp., <i>Inga vera</i> , <i>Trema micrantha</i> y <i>Musa</i> sp.	29 especies de árboles $\geq 5$ cm DAP.	Fertilización con compostas y agroquímicos; control de malezas manual y control de plagas con agroquímicos y control biológico	0.51	1.0
Cafetal rústico (CR)	365.9 1794	19°12'57'' 96°53'7''	<i>Quercus sartorii</i> , <i>Inga</i> sp., <i>Citrus</i> spp. y <i>Tapirira mexicana</i>	37 especies de árboles $\geq 5$ cm DAP.	Control de malezas mediante el pastoreo de borregos y de modo manual.	0.61	0.0

Posteriormente para la descripción y medición microscópica de las estructuras necesarias para su identificación se realizaron microcultivos en EMA 2% y preparaciones permanentes en alcohol polivinil (2%). La identificación taxonómica se realizó con la ayuda de claves taxonómicas y bibliografía especializada para el género *Trichoderma* [2, 27, 28, 29, 30, 31].

### *Análisis de datos*

Para la evaluación de cada finca, se tomaron en consideración los siguientes parámetros ecológicos: Riqueza de especies (S): o Índice de riqueza específica, se define como el número total de especies encontradas en una comunidad. Abundancia (A): es el número de colonias de una especie para cada uno de los sitios. Abundancia relativa (AR): se define como la proporción de individuos de la especie dada en la muestra en relación al número total de individuos de cada sitio. Frecuencia (Fr): es el número de veces en la cual una especie es aislada entre el total de número de muestras en un sitio. Diversidad (H'): mediante el Índice de diversidad de Shannon (H'), se calculó mediante la siguiente formula:  $H' = -\sum (p_i) (\ln p_i)$  donde: H' = Índice de diversidad y  $p_i =$  Proporción del total de la muestra perteneciente a las "i" especies, este índice requiere del número de especies y el número de individuos

en cada especie. Dominancia (D): mediante el Índice de dominancia de Simpson (D), el cual pondera las especies dominantes en la comunidad, es decir, aquellas que cuentan con más individuos. La fórmula es:  $D = \sum \frac{1}{p_i^2}$  donde  $p_i$  es la abundancia proporcional de la i especie dada por  $p_i = \frac{n_i}{N}$   $i = 1, 2, 3, \dots, s$ . Equitatividad (E): mediante el Índice de equitatividad (E) el cual se refiere a que tan uniformemente están distribuidos los individuos entre las especies.

Los índices ecológicos se obtuvieron mediante el programa Past [33], a los datos de abundancia se les realizó una transformación a log debido a que no cumplían con el supuesto de normalidad y homogeneidad. Para evaluar diferencias en la abundancia, riqueza y diversidad entre los sitios se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía mediante el programa Statistica [34]. Mediante un análisis de regresión lineal simple, se investigó la relación de las variables mencionadas con los datos de índice de estructura biofísica de la vegetación, el índice de manejo de los cafetales [24] y las propiedades fisicoquímicas de los suelos [21].

## RESULTADOS

### *Composición de las especies en los sitios de estudio (abundancia relativa y frecuencia)*

En total se aislaron 87 colonias de *Trichoderma*, entre las cuales se distinguieron



12 morfoespecies. De acuerdo a sus características morfológicas macro y microscópicas se identificaron 11 a nivel de especie (Tabla 2). En la Figura 2 se ilustran algunas de estas especies con sus características distintivas.

Las especies más abundantes durante todo el muestreo fueron *T. oblongisporum* y *T. viride*; esta última se aisló en todos los cafetales, con una mayor abundancia en el policultivo diverso (Tabla 2), la especie *T. oblongisporum* se

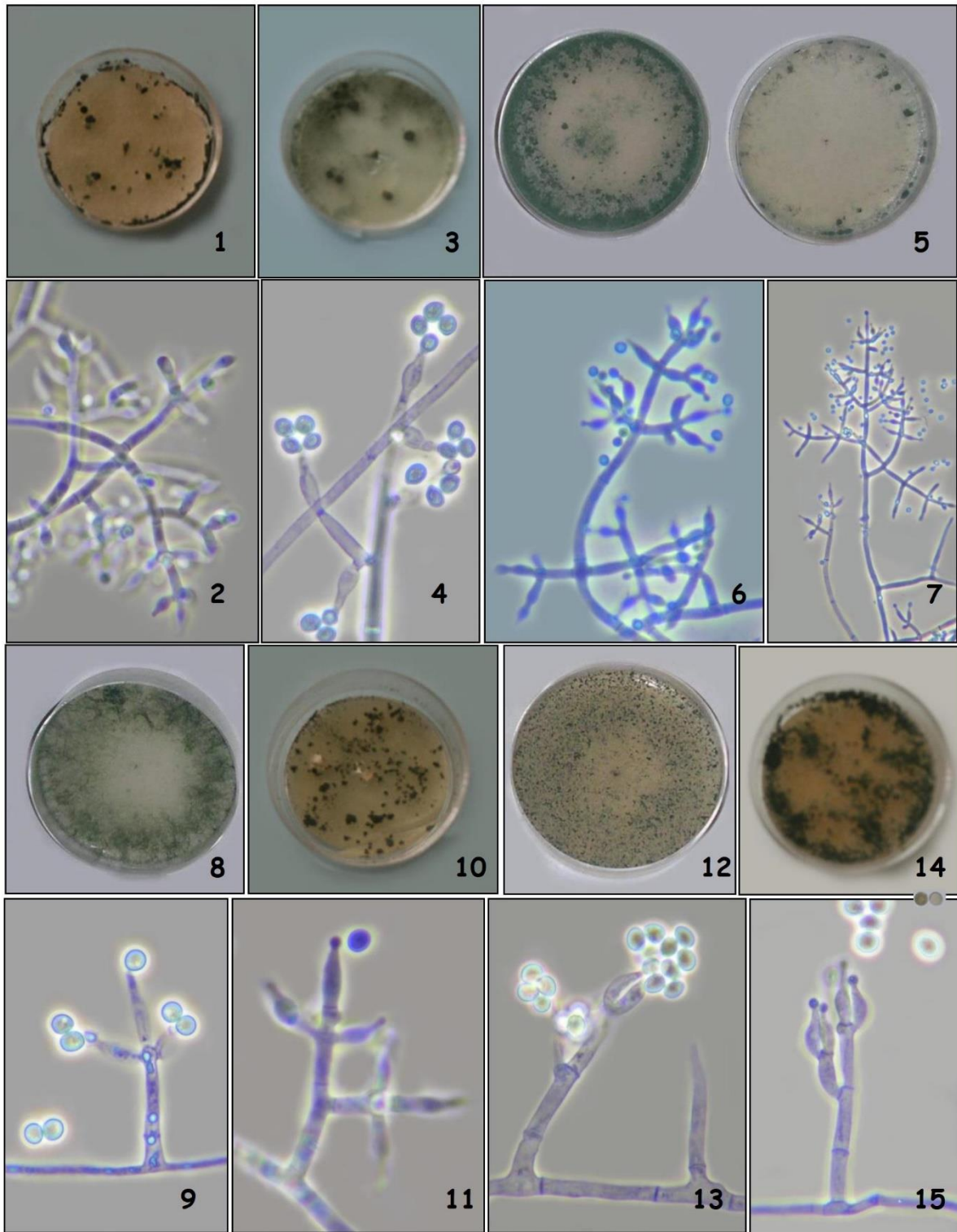
colectó exclusivamente en cafetales cuyo manejo incluye la aplicación de insumos de agroquímicos (bajo sol, monocultivo de sombra especializada, policultivo simple y policultivo diverso); *T. pseudokoningi* y *T. atroviride* se detectaron en tres de los seis cafetales estudiados, con mayor abundancia en el cafetal rústico; el resto de las especies de *Trichoderma* detectadas estuvieron presentes en solo uno o dos tipos de cafetal.

**Tabla 2.** Abundancias relativas (AR) y la frecuencia de aparición (Fr) de las especies de *Trichoderma* detectadas en los cafetales con diferente manejo y estructura de la vegetación. Monocultivo bajo sol (SOL), Monocultivo con sombra especializada (MSE), Policultivo simple (PS), Policultivo diverso (PD), Cafetal rústico (CR).

\* Especies previamente reportadas por Persiani y Maggi [15] en cafetales de esta zona.

Especies	Fr	SOL	MSE	PS	PD	CR
<i>Trichoderma atroviride</i> P. Karst.	60	12.50	-	-	2.94	25.00
<i>Trichoderma cremeum</i> P. Chaverri and Samuels	40	-	36.84	-	14.71	-
<i>Trichoderma harzianum</i> * Rifai	40	-	-	7.14	5.88	-
<i>Trichoderma koningi</i> * Oudem.	40	-	-	21.43	2.94	-
<i>Trichoderma lacteum</i> Bissett	20	12.50	-	-	-	-
<i>Trichoderma longipilis</i> Bissett	40	-	-	7.14	2.94	-
<i>Trichoderma oblongisporum</i> Bissett	80	62.50	47.37	28.57	8.82	-
<i>Trichoderma parceramosus</i> Bissett	20	-	-	14.29	-	-
<i>Trichoderma pseudokoningii</i> Rifai	60	-	10.53	-	17.65	25.00
<i>Trichoderma</i> sp.	40	6.25	-	-	-	25.00
<i>Trichoderma stricipile</i> Bissett	20	-	-	7.14	-	-
<i>Trichoderma viride</i> Pers.	100	6.25	5.26	14.29	44.12	25.00





**Figura 2.** *Trichoderma atroviride* 1-2; *T. cremea* 3-4; *T. harzianum* 5-7; *T. koningi* 8-9; *T. pseudokoningi* 10-11; *T. stricptilis* 12-13; *T. viride* 14-15. Fotos microscópicas tomadas en 100x.

*Abundancia, riqueza y diversidad de las especies de **Trichoderma** en los diferentes cafetales*

La mayor abundancia de colonias se detectó en el policultivo diverso y la menor en el cafetal rústico; de igual forma la mayor riqueza de especie se encontró en el policultivo diverso y la menor en el monocultivo con sombra especializada. Con respecto a la diversidad, el mayor valor de H' se registró en el policultivo simple y los menores en los monocultivos con sol y con sombra especializada (Tabla 3), sin que se obtuvieran diferencias significativas

entre los sitios de estudio (Tabla 4). Los monocultivos bajo sol y de sombra especializada además de exhibir una baja riqueza y diversidad de especies, tuvieron los valores más bajos de equitatividad y por lo tanto los valores mayores de dominancia en comparación con el resto de los cafetales; por su parte en el cafetal rústico a pesar de tener una baja riqueza de especies, abundancia y diversidad, su índice de dominancia fue menor y presentó una equitatividad igual a 1(Tabla 3).

**Tabla 3.** Resultados de la \*\*Riqueza específica (S), \*abundancia (A), \*\*índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), \*\*índice de dominancia (S) e \*\*índice de equitatividad (E) del género *Trichoderma* en cafetales con diferente tipo de manejo y estructura vegetal Monocultivo bajo sol (SOL), Monocultivo con sombra especializada (MSE), Policultivo simple (PS), Policultivo diverso (PD) y Cafetal rústico (CR).

	SOL	MSE	PS	PD	CR
<b>Riqueza (S)</b>	5	4	7	8	4
<b>Abundancia (A)</b>	16	19	14	34	4a
<b>Diversidad H'</b>	1.16	1.114	1.81	1.641	1.386
<b>Dominancia (S)</b>	0.4297	0.374	0.1837	0.2612	0.25
<b>Equitatividad (E)</b>	0.7209	0.8034	0.9299	0.7892	1.00

\*Datos promedios a partir de 10 replicas, \*\*a partir de 5 replicas

**Tabla 4.** Análisis de varianza de la riqueza, diversidad y la abundancia de especies de *Trichoderma* en los cinco cafetales

Variable	Fuente de variación	G.L	SS	MS	F	P
Riqueza (S)	sitio	4	9.2	2.3	1.49	0.24
	error	20	30.8	1.54		
Diversidad (H')	sitio	4	0.63	0.15	0.61	0.65
	error	20	5.13	0.25		
Log (Abundancia de colonias)	sitio	4	0.61	0.15	1.57	0.19
	error	45	4.36	0.09		

G.L= grados de libertad, SS= suma de cuadrados, MS=cuadrado de medias, F=valor de F, P=probabilidad menor a 0.05

*Regresiones lineales de la riqueza específica, abundancia y diversidad del género **Trichoderma** con el manejo, estructura y características fisicoquímicas del suelo de los cafetales*

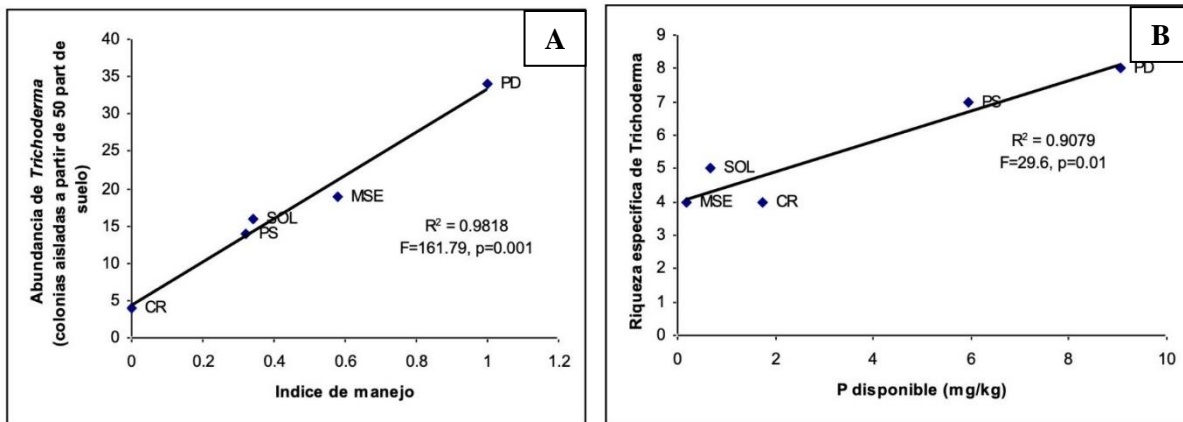
Por medio de un análisis de regresión lineal simple se observó que el índice de manejo de las fincas de café (Tabla 4) tiene una influencia significativa y positiva sobre la abundancia de colonias de *Trichoderma* ( $R^2= 98.1\%$ ,  $F= 161.7$ ,  $p= 0.001$ ); la finca de policultivo diverso, con índice de manejo igual a 1 (del rango 0-1), tuvo la mayor abundancia de colonias de *Trichoderma*; y la finca rústica, con  $IM=0$ , por el contrario, exhibió el menor número de colonias (Figura 3a). Respecto a

relación de las propiedades fisicoquímicas de los suelos (Tabla 5) con las variables (abundancia, riqueza y diversidad), solamente el contenido de fósforo mostró una influencia significativamente positiva sobre la riqueza de *Trichoderma*; en sitios con mayor cantidad de fósforo disponible fue mayor la riqueza de especies. En los dos policultivos (simple y diverso) cuyo contenido de fósforo disponible fue mayor que en el resto de los cafetales, se detectó la mayor riqueza de especies de *Trichoderma*; por otro lado, en los monocultivos (bajo sol y con sombra especializada) donde el fósforo disponible es menor, la riqueza fue menor (Figura 3b).

**Tabla 5.** Propiedades fisicoquímicas del suelo de los cafetales con diferente tipo de manejo y estructura de la vegetación. Datos tomados de Geissert e Ibañez [22]. Monocultivo bajo sol (SOL), Monocultivo con sombra especializada (MSE), Policultivo simple (PS), Policultivo diverso (PD) y Cafetal rústico (CR).

Sitios	Porosidad (%)	M.O. (g/kg)	C/N	pH	P disp. (mg/kg)	Ret. P (%)	K	Ca	Mg
SOL	56.8	54.4	8.2	4.6	0.7	79.7	1.26	3.35	1.22
MSE	59.2	59.8	9.0	5.1	0.2	62.5	0.42	6.87	1.19
PS	54.1	51.0	9.7	4.5	6.0	57.8	0.57	3.61	0.54
PD	54.4	61.0	10.7	4.8	9.1	53.8	0.56	5.98	0.77
CR	59.2	69.2	12.0	5.2	1.8	62.1	0.61	5.79	2.2

M.O.: materia orgánica, C/N: relación carbono nitrógeno, P disp.: fósforo disponible, Ret. P: retención de fósforo, K: potasio, Ca: calcio y Mg: magnesio



**Figura 3.** Regresión lineal de la abundancia (a) de colonias de *Trichoderma* y el índice de manejo de las fincas de café y de la riqueza (b) de especies de *Trichoderma* con el contenido de fósforo de las fincas de café. Monocultivo bajo sol (SOL), Monocultivo con sombra especializada (MSE), Policultivo simple (PS), Policultivo diverso (PD), Cafetal rústico (CR)

## DISCUSIÓN

En este trabajo evaluamos la abundancia de colonias, la riqueza y diversidad de especies del género *Trichoderma* aisladas de fincas de café con diferente tipo de manejo y estructura de la vegetación en la región del centro del estado de Veracruz, México, con el objetivo de conocer si la comunidad de las especies del género *Trichoderma* sufren cambios por la estructura biofísica de la vegetación y el manejo de los cafetales. Las diferentes técnicas empleadas para el estudio de los hongos saprobios pueden revelar panoramas muy diferentes, en el caso de la técnica de lavados seriados de las partículas utilizada en el presente estudio, las especies recuperadas provienen principalmente de fragmentos de hifas asociadas a las partículas de suelo [25], que es la forma activa de los hongos, por lo que las especies detectadas en este trabajo pueden considerarse como componentes activos de la microbiota de los suelos de los cafetales.

De 438 especies de *Trichoderma* descritas a nivel mundial [1], 30 han sido registradas asociadas a plantas de café; siendo las especies *T. harzianum*, *T. hamatum*, *T. koningi*, *T. longibrochiatum* y *T. viride* las que se han aislado con mayor frecuencia [19]. En este estudio, se reportan 12 especies diferentes, 4 de las cuales *T. atroviride*, *T. harzianum*, *T. koningii* y *T. viride* ya habían sido registradas

en cafetales, y *T. viride* y *T. oblongisporum* fueron las dominantes. La especie *T. viride* es de gran importancia en los cafetales, ya que existen estudios que demuestran que además de tener la capacidad de acelerar la germinación de posturas de café [35, 36], es efectiva en el control de las poblaciones del fitopatógeno *Rhizoctonia solani* causante de la enfermedad por ahogamiento o “damping off” en semilleros de cafetos [37, 38, 36]. Por otro lado, *T. harzianum* ha sido reportado como promotor del crecimiento vegetal en diversos cultivos incluyendo el café [39, 40], debido a que produce sustancias que actúan como catalizadores o aceleradores de los tejidos meristemáticos primarios en las partes jóvenes de la planta, acelerando su reproducción celular y de esta forma acelerando el desarrollo de las plantas.

Existen muy pocos estudios sobre la riqueza de las especies de *Trichoderma* en agroecosistemas cafetaleros, para este trabajo se reportan 12 especies diferentes, superior a lo encontrado por Pearsiani y Maggi [15] quienes obtuvieron 6 especies y Okoth *et al.*, [18] señalan 4 especies para un cafetal de Kenia, sin embargo, fueron inferiores a las aisladas por Belayneh-Mulaw *et al.*, [19] quienes registraron 29 especies asociadas a la rizosfera de *Coffea arabica*. Los resultados aquí expuestos de la diversidad resultan por debajo del calculado por

Belayneh-Mulaw *et al.*, [19] en Etiopia (2.47 versus 1.81), por lo que consideramos que se necesitan estudios a largo plazo e incluir cafetales de todas las variantes de tipo de manejo y aumentar el número de muestreos para mostrar un panorama más amplio de la diversidad de *Trichoderma* en los cafetales de la región.

La abundancia, riqueza y diversidad de *Trichoderma* fue parecida entre los diferentes tipos de cafetales, la alta heterogeneidad de cada uno de los sitios dio como resultado desviaciones estándar muy amplias y por consiguiente un traslape entre ellas, por lo que podemos concluir que la estructura vegetal y el manejo de los cafetales no tienen un impacto significativo en la riqueza de especies, abundancia y diversidad de este género. A pesar de ello, es claro que los monocultivos mantienen una baja riqueza y diversidad de especies, así como una alta dominancia y una baja equitatividad. Los policultivos si bien tienen una alta riqueza y diversidad hay una dominancia muy alta; no obstante, en el cafetal rústico a pesar de tener una baja riqueza y diversidad de especies, la dominancia de las especies es muy baja y existe una distribución uniforme de las mismas. Para términos de conservación de la biodiversidad, el número de especies es una de las variables que más frecuentemente se utilizan para medir la

biodiversidad, sin embargo, la biodiversidad no depende únicamente de la riqueza, sino también de la dominancia de cada una de ellas; en general, las especies se distribuyen según jerarquías de abundancia, desde muy abundantes hasta muy raras. Cuanto mayor es el grado de dominancia de ciertas especies y de rareza de las demás, menor es la biodiversidad de la comunidad. Ante el actual empobrecimiento de la diversidad biológica es indispensable la realización de inventarios biológicos que representen mejor la biodiversidad y la distribución geográfica de cada grupo biológico, en especial los menos conocidos.

El índice de manejo que reciben los cafetales se relacionó de manera determinante sobre la abundancia del género *Trichoderma*, la mayor cantidad de colonias de *Trichoderma* se aisló en los cafetales que reciben una mayor cantidad de agroquímicos, como es el caso de los policultivos, lo que probablemente se deba a que el tratamiento a base de químicos podría estar eliminando especies más sensibles y favorecer un nicho en el suelo [41] a las especies de *Trichoderma* que tienen una mayor tolerancia a los pesticidas y una mayor capacidad de colonización. Estos resultados concuerdan con los estudios de Elmoholt y Labovriau [42], Bourguing, [43], por el contrario, Bulluck *et al.* [44], Okoth *et al.*, [18]



encontraron un mayor número de propágulos de *Trichoderma* en suelos que reciben menos agroquímicos.

Okoth *et al.*, [18, 17] mencionan que el tipo de suelo es determinante de la distribución y ocurrencia de *Trichoderma*; para este estudio, se detectó una estrecha relación del contenido de fósforo del suelo con la riqueza de especies de *Trichoderma*, existen estudios que demuestran que los integrantes del género *Trichoderma* además de nutrirse de exudados de las raíces y de los desechos que se producen, excretan enzimas y otros compuestos que les permiten solubilizar diferentes nutrientes, entre ellos el fósforo [45, 6, 46, 47]. En los policultivos donde el contenido de fósforo fue mayor, la riqueza de especies también fue mayor, en este sitio crecieron cinco especies de manera exclusiva.

## CONCLUSIÓN

En conclusión, los resultados indican que la estructura vegetal y el manejo asociada de los sistemas cafetaleros del centro del estado de Veracruz, no tienen un impacto significativo en la riqueza, diversidad y abundancia de especies del género *Trichoderma*. Sin embargo, la intensidad de manejo agrícola es un factor determinante de la abundancia de colonias de *Trichoderma* y el contenido de fósforo de los

suelos de la riqueza de especies de este género. Considerando que los cafetales de la región son pobres en fósforo disponible, este grupo de hongos cobran aun mayor importancia para realizar estudios que ayuden a enfrentar el problema de la falta de fósforo en estos suelos.

La capacidad de los microorganismos para promover el crecimiento de las plantas a menudo está relacionada con la mejora de la nutrición mineral de la planta [48, 49]. Dado que los elementos nitrógeno, fósforo y el hierro se encuentran entre los nutrientes más limitantes para las plantas, el uso de microorganismos fijadores de N y solubilizantes de fósforo representan una alternativa para reducir la dependencia de los fertilizantes químicos [50, 51, 52].

En este contexto, cada vez existen más estudios sobre el potencial que tienen las bacterias y los hongos en la promoción del crecimiento de las plantas y/o habilidades de control biológico de las plagas y enfermedades del café [53, 54, 55, 56] con el fin de mejorar la sostenibilidad de la producción de café y favorecer la venta del producto en un mercado orgánico internacional con mejores ganancias para el agricultor.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.



## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a los propietarios de las fincas de café por el permiso para acceder a cada uno de los sitios de muestreo.

## REFERENCIAS

[1]. Index fungorum. 2021. Index fungorum base de datos. <http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>. (consultado septiembre 2021).

[2]. Domsch KH, Gams W, Anderson TH. Compendium of Soil Fungi. Academic Press: New York 1980.

[3]. Gams W, Bissett J. Morphology and identification of *Trichoderma*. In: Kubicek CP, Harman GE, Eds. *Trichoderma and Gliocladium*. London, Bristol (PA): Taylor and Francis; 1998; 3–31.

[4]. Infante Danay, Martínez B, González Noyma, Reyes Yusimy. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Rev Protección Veg Informe sobre desarrollo cafetero*. IOC 2019; 17.

[5]. Bunbury-Blanchette AL, Walker AK. *Trichoderma* species show biocontrol potential in dual culture and greenhouse bioassays against *Fusarium* basal rot of onion. *Crol Biol* 2019; 130: 127–135.

[6]. Vera D, Pérez H, Valencia H. Aislamiento

de hongos solubilizadores de fosfatos de la rizosfera del arazá (*Eugenia stipitata*, Myrtaceae). *Acta Biol Colomb* 2002; 7: 33–40.

[7]. Torres-De la Cruz M, Ortiz-García CF, Bautista-Muñoz C, Ramírez-Pool JA, Ávalos-Contreras N, Cappello-García S, *et al*. Diversidad de *Trichoderma* en el agroecosistema cacao del estado de Tabasco, México. *Rev Mex Biodivers* 2015; 86: 947–961.

[8]. Sharma V, Salwan R, Sharma PN. Los aspectos mecanicistas comparativos de *Trichoderma* y probióticos: alcance para futuras investigaciones. *Fitopato Fisiol Mol* 2017; 100: 84–96.

[9]. Zhang YB, Zhuang WY. Four new species of *Trichoderma* with hyaline ascospores from southwest China. *Mycosphere* 2017; 8: 1914–1929.

[10]. Filizola PRB, Luna MAC, de Souza AF, Coelho IL, Laranjeira D, Campos-Takaki GM. Biodiversity and phylogeny of novel *Trichoderma* isolates from mangrove sediments and potential of biocontrol against *Fusarium strains*. *Microb Cell Fact* 2019; 18: 89.

[11]. Marik T, Tyagi C, Balázs D, Urbán P, Szepesi Á, Bakacsy L, Endre G, Rakk D, Szekeres A, Andersson MA, Salonen H, Druzhinina IS, Vágvölgyi C, Kredics L.

Structural diversity and bioactivities of peptaibol compounds from the Longibrachiatum clade of the filamentous fungal genus *Trichoderma*. *Front Microbiol* 2019; 10: 1434.

[12]. Organización Internacional de café. Informe sobre desarrollo cafetero de 2019: Sumario Publicación producida con el apoyo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania por medio de Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH 2019; 17 pp.

[13]. Moguel P, Toledo V. El café en México. Ecología, cultura indígena y sustentabilidad. Ecodes 1996.

[14]. SAGARPA. 2017. gov.mx. Obtenido [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distribofederal/boletines/Paginas/JAC\\_00264\\_03.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distribofederal/boletines/Paginas/JAC_00264_03.aspx)

[15]. Persiani A, Maggi O. Fungal communities in the rhizosphere of *Coffea arabica* L. in Mexico. *Mycol Ital* 1988; 2: 21–37.

[16]. Velmourougane K, Panneerselvam P, Shanmukhappa DR, Gopinandan TN, Srinivasan CS, Naidu R. Microflora associated with high and low grown *Coffea arabica* and *C. robusta*. *J Caffeine Res* 2000; 28: 9–19.

[17]. Okoth SA, Okoth P, Muya E. Influence of soil chemical and physical properties on

occurrence of *Trichoderma* spp. In Embu, Kenia. *Trop Subtrop Agroecosystems* 2009; 11: 303–312.

[18]. Okoth SA, Roimen H, Mutsotso B, Muya E, Kahindi J, Owino JO. Land use systems and distribution of *Trichoderma* species in Embu Region, Kenia. *Trop Subtrop Agroecosystems* 2007; 7: 105–122.

[19]. Belayneh-Mulaw T, Kubicek CP, Druzhinina IS. The Rhizosphere of *Coffea arabica* in its native highland forests of Ethiopia provides a niche for a distinguished diversity of *Trichoderma*. *Diver* 2010; 2: 527–549.

[20]. Arias RM, Abarca GH. Fungal diversity in coffee plantation systems and in a tropical montane cloud forest in Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 2014; 88, 921–933.

[21]. Williams-Linera G. Phenology of deciduos and broadleaved-evergreen tree species in a Mexican tropical lower montane forest. *Global Ecol Biogeogr* 1997; 6: 115–127.

[22]. Geissert D, Ibáñez A. Calidad y ambiente físicoquímico de los suelos. In *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación*. Manson, R. H, Hernández-Ortiz V, Gallina S, Mehlreter K, Eds. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Ecología (INE); 2008; 213–221.

- [23]. Williams–Linares G, López–Gómez AM. Estructura y diversidad de la vegetación leñosa. In: Manson RH, Henández–Ortiz V, Gallina S, Mehtreter K, Eds. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Ciudad de México, México; 2008; 55–68.
- [24]. Contreras A y G Hernández. ¡Qué bien huele, mejor sabrá! La organización de los productores del proyecto Biocafé. Instituto de Ecología A. C. 2008; 91.
- [25]. Hernández G. Clasificación agroecológica. In Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Manson, R. H, Hernández-Ortiz V, Gallina S, Mehtreter K, Eds. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Ecología (INE); 2008; 15–34.
- [26]. Bills GF, Christensen M, Thorm G. Saprobic soil fungi. In Muller, Bill G, Foster MS, Eds. Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods. Elsevier: Academic. Press; 2008; 271–301.
- [27]. Kubicek CP, Harman GE. *Trichoderma* and *Gliocladium*. Volume 1: Basic biology, taxonomy and genetics. 8<sup>a</sup> ed. Taylor y Francis: Londres 1998.
- [28]. Samuels GJ. *Trichoderma*: systematics, the sexual state, and ecology. *Phytopathology* 2006; 96: 195–206.
- [29]. Samuels GJ, Ismaiel A, Bon, MC; De Respini S, Petrini O. *Trichoderma asperellum* sensu lato consta de dos especies crípticas. *Micol* 2009.
- [30]. Samuels GJ, Hebbar PK. *Trichoderma*: identification and agricultural applications. APS Press 2015.
- [31]. Chaverri P, Branco-Rocha F, Jaklitsch W, Gazis R, Degenkolb T, Samuels GJ. Systematics of the *Trichoderma harzianum* species complex and the re-identification of commercial biocontrol strains. *Mycol.* 2015; 107(3):558-590.
- [32]. Bissett J, Gams W, Jaklitsch W, Samuels GJ. Accepted *Trichoderma* names in the year 2015. *IMA Fungus* 2015; 6: 263–295.
- [33]. Hammer O, Hasrper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. 2001.
- [34] StatSoft, Inc. Statistica para Windows v. 10.0. Data analysis software system. Tulsa. [cd-Rom] 2017.
- [35]. Miranda MA, Estrella AH, Cabriales JP. Colonization of the rhizosphere, rhizoplane and endorhiza of garlic (*Allium sativum* L.) by strains of *Trichoderma harzianum* and their capacity to control allium white-rot under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 2006; 38(7): 1823-1830.
- [36]. Cupull SR, Andréu RC, Pérez NC,

Delgado PY, Cupull SMC. Efecto de *Trichoderma viride* como estimulante de la germinación, en el desarrollo de posturas de cafetos y el control de *Rhizoctonia solani* Kuhn. Cent Agric 2003; 30(1).

[37]. Rincón G. Control Biológico de *Rhizoctonia solani* con *Trichoderma* spp. en semilleros de café. Cenicafé 1992; 43(3): 73–83.

[38] Andreu CM, Cupull SR, Mayea SS. Relaciones antagónicas sobre el crecimiento micelial de *Alternaria solani* Soraver, por *Trichoderma* spp. y *Verticillium* spp. Centro Agric 1992; 19(2- 3): 114–116.

[39]. Castro A, Rivillas C. Bioregulación de *Rhizoctonia solani* en germinadores de café. Cenicafé, 2005; 336.

[40]. Guilcapi ED. Efecto de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride*, en la producción de plantas de café (*Coffea arabica*) variedad caturra a nivel de vivero. PhD tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2009.

[41]. Lewis JA, Papavizas GC. Chlamyospore formation by *Trichoderma* species. Phyto 1981; 71: 890.

[42]. Elmholt S, Labouriau R. Fungi in Danish soils under organic and conventional farming. Agric Ecosyst Environ 2005; 107(1): 65–73.

[43]. Bourguignon E. Ecology and diversity of

indigenous *Trichoderma* species in vegetable cropping systems. PhD Thesis, Lincoln University, Canterbury, NZ, 2008.

[44]. Bulluck I, LR, Brosius, M, Evanylo, GK y Ristaino, JB. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms Ecología aplicada del suelo 2002; 19 (2): 147–160.

[45]. Altomare C, Norvell WA, Björkman T, Hraman GE. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295- 22. Appl Environ Microbiol 1999; 65: 2926–2933.

[46]. Rudresh, DL, Shivaprakash MK, Prasad RD. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). Applied Soil Ecol 2005; 28:139-146.

[47]. Kapri A, Tewari L. Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rhizospheric *Trichoderma* spp. Rev Br Microbiol 2010; 41: 787–795.

[48]. Egamberdieva D, Wirth SJ, Alqarawi AA, Abd Allah, EF, Hashem, A. Phytohormones and beneficial microbes: essential components for plants to balance stress and fitness. Front Microbiol 2017; 8: 2104.

- [49]. Kudoyarova G, Arkhipova T, Korshunova T, Bakaeva M, Loginov O, Dodd IC. Phytohormone mediation of interactions between plants and non-symbiotic growth promoting bacteria under edaphic stresses. *Front Plant Sci* 2019; 10: 1368.
- [50]. Vitousek PM, Cassman K, Cleveland C, Crews T, Field CB, Grimm NB, Howarth RW, Marino R, Martinelli L, Rastetter EB, Sprent JJ. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation. In: Boyer EW, Howarth RW, Eds. *The Nitrogen Cycle at Regional to Global Scales*. Dordrecht: Springer 2002; 1–45.
- [51]. Alori ET, Glick BR, Babalola O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Front Microbiol* 2017; 8: 971.
- [52]. Prabhu N, Borkar S, Garg S. Phosphate solubilization by microorganisms. In: Meena Sn, Naik MM, Eds. *Advances in Biological Science Research*. London: Elsevier; 2019; 161–176.
- [53]. Jiménez-Salgado T, Fuentes-Ramírez LE, Tapia-Hernández A, Mascarua-Esparza MA, Martínez-Romero E, Caballero-Mellado J. *Coffea arabica* L., a new host plant for *Acetobacter diazotrophicus*, and isolation of other nitrogen-fixing acetobacteria. *Appl Environ Microbiol* 1997; 63: 3676–3683.
- [54]. Posada RH, Heredia-Abarca G, Sieverding E, Sánchez de Prager M. Solubilization of iron and calcium phosphates by soil fungi isolated from coffee plantations. *Arch Agron Soil Sci* 2013; 59: 185–196.
- [55]. Kejela T, Thakkar VR, Thakor P. *Bacillus* species (BT42) isolated from *Coffea arabica* L. rhizosphere antagonizes *Colletotrichum gloeosporioides* and *Fusarium oxysporum* and also exhibits multiple plant growth promoting activity. *BMC Microbiol* 2016; 16: 277.
- [56]. Perea YCP, Arias RM, Medel RO, Trejo DA, Heredia G, Yon Y. Effects of native arbuscular mycorrhizal and phosphate-solubilizing fungi on coffee plants. *Agrofor Syst* 2019; 93: 961–972.