

## Review [Revisión]



**BIODIVERSITY OF *Trichoderma* SPP. IN MEXICO AND ITS POTENCIAL USE IN AGRICULTURE †**

**[BIODIVERSIDAD DE *Trichoderma* SPP. EN MÉXICO Y SU POTENCIAL DE UTILIZACIÓN EN LA AGRICULTURA]**

**Raúl Allende-Molar<sup>1</sup>, Karla Marina Báez-Parra<sup>2</sup>, Edith Salazar-Villa<sup>3</sup> and Indira Rojo-Báez<sup>\*3</sup>**

<sup>1</sup>*Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México. Email: raallende@uv.mx*

<sup>2</sup>*Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa. Ciudad Universitaria, Blvd. de las Américas y Blvd. Universitarios S/N. C P 80013, Culiacán Rosales, Sinaloa, México. Email: karlabaez.fcqb@uas.edu.mx*

<sup>3</sup>*Facultad de Biología, Universidad Autónoma de Sinaloa. Ciudad Universitaria, Blvd. de las Américas y Blvd. Universitarios S/N. C P 80013, Culiacán Rosales, Sinaloa, México. Email: edithsalazar@uas.edu.mx; \*indira@uas.edu.mx*  
\*Corresponding author

### SUMMARY

**Background.** *Trichoderma* is a cosmopolitan genus of fungi with beneficial species that help both to improve the plant rhizosphere and combat pathogens in economically important crops. Due to its importance in the agricultural biotechnological field, the morphological and molecular identification of *Trichoderma* species is of interest; however, currently the information on identification, biocontrol and its applications in agriculture is scattered. **Objective.** The objective of this review was to carry out an exhaustive analysis on the identification of *Trichoderma*, as well as an analysis of biocontrol studies and applications of *Trichoderma* in agriculture in Mexico. **Methodology.** A bibliographic review of *Trichoderma* was carried out in the following databases: Scopus, Science Direct, NCBI, Google Scholar, Pubmed and USDA. The keywords used were *Trichoderma*, identification, morphology, molecular, antagonism, biocontrol, agricultural use, agricultural importance, and Mexico. The collection of information on *Trichoderma* species in Mexico was considered during the period from 2005 to 2022. **Results.** In Mexico, 42 species reported to date of *Trichoderma* based on morphological characteristics were found, the main identified species are *T. harzianum*, *T. asperellum* and *T. viride*; according to the ITS barcoding marker and *teflα* gene region, 17 species reported to date have been identified at the molecular level. The main species reported are *T. asperellum* and *T. harzianum*. Additionally, the most reported species as antagonists are *T. asperellum* and *T. harzianum*, the latter being the one that is mostly marketed in biological products. **Implications.** Currently the species *T. asperellum* and *T. harzianum* stand out in identification, biocontrol, and application in agriculture. **Conclusions.** Morphological identification alone is difficult; recently in Mexico, the identification of *Trichoderma* species is carried out at an exhaustive level, complementing the morphological identification with molecular identification. At present, reports on the diversity of *Trichoderma* species have increased in identification, biocontrol, and applications in the agricultural area.

**Key words:** antagonism; biocontrol; identification; *Trichoderma*.

### RESUMEN

**Antecedentes.** *Trichoderma* es un género de hongos cosmopolita y con especies benéficas que contribuyen a mejorar la rizosfera vegetal y a combatir patógenos en cultivos económicamente importantes. Debido a su importancia en el ámbito biotecnológico agrícola, es de interés la identificación morfológica y molecular de especies de *Trichoderma*; no obstante, actualmente la información sobre la identificación, biocontrol y sus

† Submitted March 27, 2022 – Accepted May 5, 2022. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4297>



aplicaciones en la agricultura se encuentra dispersa. **Objetivo.** El objetivo de esta revisión fue realizar un análisis exhaustivo sobre las publicaciones relacionadas con la identificación de *Trichoderma* spp. en México; así como un análisis sobre los estudios de biocontrol y aplicaciones de *Trichoderma* en la agricultura mexicana. **Metodología.** Se realizó una revisión bibliográfica de *Trichoderma* en las siguientes bases de datos: Scopus, Science Direct, NCBI, Google Académico, Pubmed y USDA. Se utilizaron las palabras clave: *Trichoderma*, identificación, morfología, molecular, antagonismo, biocontrol, uso agrícola, importancia agrícola y México. La recopilación de información sobre las especies de *Trichoderma* reportadas en México se contempló durante el periodo del año 2005 a 2022. **Resultados.** En México se encontraron 42 especies reportadas a la fecha de *Trichoderma* basadas en características morfológicas siendo las especies principales: *T. harzianum*, *T. asperellum* y *T. viride*; de acuerdo con el marcador molecular ITS y la región génica *tef1 $\alpha$*  se han reportado a la fecha a nivel molecular 17 especies, las principales especies reportadas son *T. asperellum* y *T. harzianum*. Adicionalmente, las especies reportadas con mayor frecuencia como antagonistas son *T. asperellum* y *T. harzianum*, siendo esta última la que se comercializa principalmente en productos biológicos. **Implicaciones.** Actualmente las especies *T. asperellum* y *T. harzianum* sobresalen en el área de identificación, biocontrol y aplicación en la agricultura. **Conclusiones.** En *Trichoderma*, la identificación de especies basada solo en características morfológicas es difícil; en México, recientemente la identificación de especies de *Trichoderma* se realiza a nivel exhaustivo complementando la identificación morfológica con la identificación molecular. En la actualidad los reportes sobre la diversidad de especies de *Trichoderma* ha aumentado en el área de identificación, biocontrol y aplicaciones en el área agrícola.

**Palabras clave:** antagonismo; biocontrol; identificación; *Trichoderma*.

## INTRODUCCIÓN

El género *Trichoderma* fue reconocido por primera vez por el micólogo C. H. Persoon en 1794, dentro de los principales géneros de hongos, entre los cuales se encuentran los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium* y *Penicillium* (Samuels y Hebbbar, 2015). Las especies de *Trichoderma* se encuentran en una gran variedad de hábitats incluyendo distintos tipos de suelo, materia orgánica e inorgánica, incluso como organismos endófitos. El éxito de este género fúngico se debe a los diversos mecanismos de sobrevivencia y proliferación de manera cosmopolita; por ejemplo, la habilidad de inhibir el crecimiento de otros hongos por su actividad enzimática al degradar carbohidratos complejos (Hernández-Melchor *et al.*, 2019).

La primera clasificación del género *Trichoderma* comprendió nueve especies: *Trichoderma aureoviride*, *T. hamatum*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *T. longibrachiatum*, *T. piluliferum*, *T. polysporum*, *T. pseudokoningii* y *T. viride* (Rifai, 1969; Amaresh *et al.*, 2019). No obstante, la taxonomía del género *Trichoderma* es polifásica, por lo tanto, la identificación debe integrarse considerando la morfología y la identificación molecular. Actualmente, de acuerdo con la identificación molecular, las principales especies de *Trichoderma* se agrupan en cinco clados: *Viride*, *Virens*, *Strictipile*, *Longibrachiatum* y *Harzianum* (Rodríguez *et al.*, 2021).

Por otra parte, se han investigado distintas aplicaciones del género *Trichoderma* en el área de

ciencia aplicada, entre las que se encuentran: biorremediación de suelos, biocontrol de fitopatógenos, producción de biocombustibles a partir de plantas, producción de biofertilizantes, entre otros (Sikora *et al.*, 2008; Lantz *et al.*, 2010; Argumento-Delira *et al.*, 2012). Por lo tanto, el propósito de esta revisión es presentar un análisis íntegro y concreto que brinde información sobre la identificación, biocontrol y aplicaciones de *Trichoderma* en México que contribuya en la generación de nuevo conocimiento en el área aplicada.

Debido a su importancia en el ámbito biotecnológico agrícola, es de interés la identificación morfológica y molecular de especies de *Trichoderma*; no obstante, actualmente la información sobre la identificación, así como los estudios sobre biocontrol y sus aplicaciones en la agricultura se encuentran dispersos. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión fue realizar un análisis exhaustivo sobre las publicaciones relacionadas con identificación de *Trichoderma*; de los estudios de biocontrol y de las aplicaciones de *Trichoderma* en la agricultura en México reportadas a la fecha de la redacción de esta revisión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica de *Trichoderma* en las siguientes bases de datos: Scopus, Science Direct, NCBI, Google Académico, Pubmed y USDA. En la búsqueda en las diversas bases de datos, se utilizaron las palabras clave: *Trichoderma*, identificación, morfología, molecular, antagonismo, biocontrol, uso agrícola,

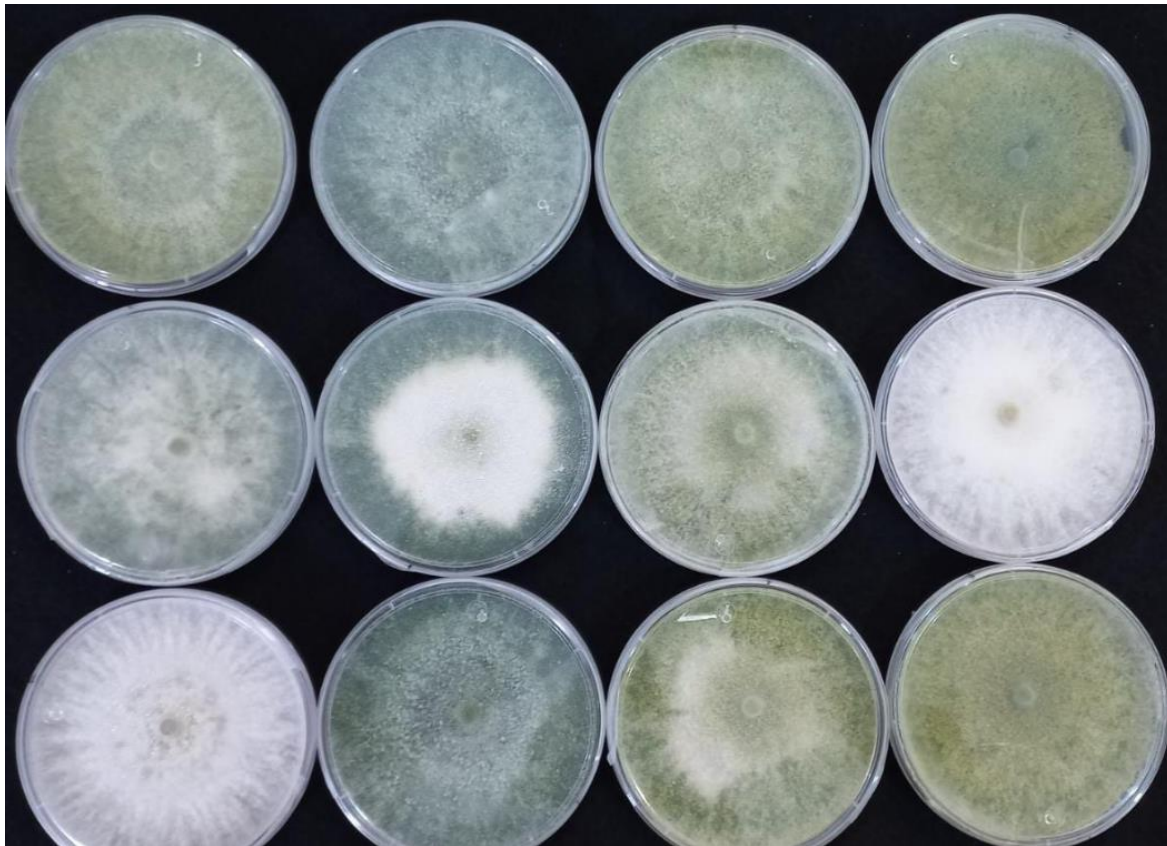
importancia agrícola y México. La recopilación de información sobre las especies de *Trichoderma* en México se contempló durante el periodo del año 2005 a 2022 debido a que durante este periodo encontramos en la literatura información importante de *Trichoderma* en México. De acuerdo con la información bibliográfica obtenida a la fecha de la redacción de esta revisión, se clasificó, analizó, discutió e integró de acuerdo con su importancia en las secciones: identificación morfológica, identificación molecular, biocontrol y aplicaciones en la agricultura.

### Identificación morfológica de *Trichoderma* spp.

La identificación morfológica de *Trichoderma* spp. incluye aislar y cultivar las especies de *Trichoderma* en medios de cultivo selectivos como por ejemplo: Papa Dextrosa Agar modificado (PDAm), *Trichoderma* medio E (TME), medio selectivo *Trichoderma* (TSM y TSMC), medio selectivo para la cuantificación de *T. harzianum* y *T. aggressivum* en composta, medio selectivo para cuantificar especies de *Trichoderma* en suelo

infestado con Oomycetes y el medio selectivo para *T. virens* (Papavizas y Lumsden, 1982; Elad y Chet, 1983; Askew y Laing, 1993; Howell, 1999; Williams *et al.*, 2003; Gil *et al.*, 2009) y no selectivos entre los que se encuentran: Papa Dextrosa Agar (PDA), Spezieller Nährstoffarmer agar (SNA) y Corn Meal Agar (CMA) (Nirenberg, 1976; Samuels y Hebbbar, 2015).

Las características macroscópicas que se toman en cuenta en la identificación morfológica son el color de la colonia, en *Trichoderma* es color verde (variando su intensidad de acuerdo con la especie), amarillo o blanco (Figura 1); el radio de la colonia, y la temperatura óptima para *Trichoderma* de 25-30°C (Chaverri y Samuels, 2003; Samuels y Hebbbar, 2015). Por su parte, la identificación microscópica requiere de observación directa mediante microscopía óptica; se consideran las dimensiones y forma de los conidios, así como la longitud y ramificación de conidióforos; fiálides y clamidosporas (Gams y Bissett *et al.*, 1998; Samuels e Ismaiel, 2011).



**Figura 1.** *Trichoderma* spp. en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) con 7 días de crecimiento.



Especie	Características evaluadas	Claves taxonómicas	Ubicación geográfica	Referencia
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg <i>T. harzianum</i> Rifai	Conidios, fiálides y conidióforos	Barnett y Hunter, 1972	Toluca, Estado de México	García-Núñez <i>et al.</i> , 2017
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg <i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans <i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster	Micelio, conidios  Colonia	Dugan, 2006 Watanabe, 2010 Barnett y Hunter, 1972 Samuels, 2006	Chihuahua  Noroeste de México	Ríos-Velasco <i>et al.</i> , 2016 Hernández-Mendoza <i>et al.</i> , 2015
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg <i>T. viride</i> Pers. <i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster	Micelio, hifas, esporas y clamidosporas	Barnett y Hunter, 1972 Bissett, 1991 Von Arx, 1981	Sinaloa	López-Valenzuela <i>et al.</i> , 2015
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg <i>T. brevicompactum</i> G. F. Kraus, C. P. Kubicek & W. Gams <i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans <i>T. longibrachiatum</i> Rifai <i>T. pleuroticola</i> S. H. Yu & M. S. Park <i>T. reesei</i> E. G. Simmons <i>T. spirale</i> Bissett <i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster <i>T. harzianum</i> Rifai	Colonia, conidios, fiálides, conidióforos y clamidosporas	Samuels, 2002b; Chaverri, Farr y McCray, 2002	Tabasco	Torres-De la Cruz <i>et al.</i> , 2015
<i>T. crassum</i> Bissett	Color, olor, pústulas, micelio aéreo y pigmentación del medio. Conidióforos, conidias, fiálides y clamidosporas	Barnett y Hunter, 1998 Druzhinina <i>et al.</i> , 2006 Chaverri <i>et al.</i> , 2003	Guerrero  Oaxaca	Michel-Aceves <i>et al.</i> , 2013  Sánchez-López <i>et al.</i> , 2012
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. viride</i> Pers.	Conidios, conidióforos y clamidosporas	Bissett, 1991	Colima Guerrero	Guigón-López <i>et al.</i> , 2010
<i>T. atroviride</i> P. Karst. <i>T. erinaceum</i> Bissett, C. P. Kubicek & Szakács <i>T. harzianum</i> Rifai <i>Trichoderma</i> sp.	Conidios y conidióforos	Bissett, 1984; 1991; 1992 Gams y Bissett, 1998	Quintana Roo	Hoyos-Carvajal <i>et al.</i> , 2009

### Identificación molecular de *Trichoderma* spp.

Actualmente la identificación morfológica posee un bajo poder discriminatorio entre especies similares, por ello se requiere el empleo de técnicas moleculares para realizar una identificación adecuada. El primer estudio taxonómico molecular del género *Trichoderma*, basado en secuencias del ADN y estudios filogenéticos, se enfocó en la sección *Longibrachiatum*; este primer estudio filogenético se basó en la región ITS del clúster génico nuclear del ADN ribosomal (Región espaciadora interna transcrita, por sus siglas en inglés), el cual está en una región altamente conservada que permite distinguir entre especies relacionadas a nivel género (Samuels y Hebbbar, 2015).

Los estudios filogenéticos basados en las secuencias del ADN han permitido agrupar a *Trichoderma* spp. dentro de especies crípticas puesto que son especies genéticamente similares (Samuels *et al.*, 1998); inclusive si las especies están filogenéticamente relacionadas, en la mayoría de los casos son cepas morfológicamente indistinguibles. Por lo tanto, la sistemática fúngica se basa en el código de barras del ADN o multilocus; es decir, el uso de más de un marcador

génico para una identificación molecular adecuada (Xu, 2016). Las regiones génicas utilizadas para la identificación molecular de *Trichoderma* son variadas. Las más utilizadas a nivel internacional son: la región ITS del ADN ribosomal nuclear, el factor de elongación 1 alfa (*tef1*), la región del ARN polimerasa II (*rpb2*), así como la actina (*act*), calmodulina (*cal*), ATP citrato liasa (*ac11*) y endoquitinasa (*chi18-5*) (Samuels y Hebbbar, 2015).

Una aproximación a la identidad de especies de *Trichoderma* se puede obtener usando ITS, puesto que es una región altamente conservada entre especies cercanamente relacionadas; no obstante, la región génica más utilizada para la identificación de especies de *Trichoderma* es el factor de elongación (*tef1 $\alpha$* ). Una vez secuenciadas las regiones génicas de interés, las secuencias se analizan y se comparan con las secuencias depositadas en la base de datos GenBank TrichoBlast (Druzhinina *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2013). De acuerdo con la identificación multilocus y a estudios filogenéticos se ha agrupado a las especies de *Trichoderma* (Dettman *et al.*, 2003) en 24 clados, siendo los clados *Viride* y *Harzianum* los más amplios (Tabla 2) (Jaklitsch, 2011; Samuels y Hebbbar, 2015).

**Tabla 2. Agrupación de especies de *Trichoderma* en clados (Samuels y Hebbbar, 2015).**

Clado	Especies
<i>Aureoviride</i>	<i>T. aeruginum</i> Jaklitsch; <i>T. aureoviride</i> Rifai; <i>T. chlorosporum</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. costaricense</i> (P. Chaverri & Samuels) P. Chaverri, Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. cremeum</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. danicum</i> (Jaklitsch) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. pseudocandidum</i> Chaverri, Samuels & Minnis; <i>T. sinuosum</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. spinulosum</i> (Fuckel) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. surrotundum</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. thailandicum</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. thelephoricola</i> P. Chaverri & Samuels y <i>T. virescentiflavum</i> (Speg.) Jaklitsch & Voglmayr
<i>Brevicompectum</i>	<i>T. arundinaceum</i> Zafari, Grafenhan & Samuels; <i>T. auranteffusum</i> Jaklitsch; <i>T. brevicompectum</i> G. F. Kraus, C. P. Lubicek & W. Gams; <i>T. margaretense</i> Jaklitsch; <i>T. protrudens</i> Samuels & P. Chaverri; <i>T. rodmanii</i> (Samuels & P. Chaverri) Jaklitsch & Voglmayr y <i>T. turrialbense</i> Samuels, Degenkolb, K. F. Nielsen & Grafenhan
<i>Ceramicum</i>	<i>T. ceramicum</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. estonicum</i> P. Chaverri & Samuels y <i>T. parestonicum</i> Jaklitsch
<i>Delicatulum</i>	<i>T. avellaneum</i> (Rogerson & S. T. Carey) Jaklitsch & Voglmayr y <i>T. delicatulum</i> Jaklitsch
<i>Deliquescens</i>	<i>T. deliquescens</i> (Sopp) Jaklitsch; <i>T. luteocrystallinum</i> Jaklitsch y <i>T. melanomagnum</i> P. Chaverri & Samuels
<i>Flavipes</i>	<i>T. alcalifuscens</i> (Overton) Jaklitsch & Voglmayr y <i>T. flavipes</i> (Peck) Seifert, Jaklitsch & Voglmayr
<i>Gelatinosum</i>	<i>T. chromospermum</i> P. Chaverri & Samuels y <i>T. gelatinosum</i> P. Chaverri & Samuels
<i>Harzianum</i>	<i>T. afarasinum</i> P. Chaverri & F. B. Rocha; <i>T. afroharzianum</i> P. Chaverri, F. B. Rocha & Druzhin; <i>T. aggressivum</i> Samuels & W. Gams; <i>T. alni</i> Jaklitsch; <i>T. amazonicum</i> P. Chaverri & Gazis; <i>T. atrobrunneum</i> F. B. Rocha, P. Chaverri & Jaklitsch; <i>T. brunneoviride</i> Jaklitsch; <i>T. camerunense</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. cinnamomeum</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. compactum</i> Z. F. Yu & K. Q. Zhang; <i>T. dacrymycellum</i> Jaklitsch; <i>T. endophyticum</i> F. B. Rocha, Samuels & P. Chaverri; <i>T. epimyces</i> Jaklitsch; <i>T. guizhouense</i> Q. R. Li, Mckenzie & Young Wang bis; <i>T. harzianum</i> Rifai; <i>T.</i>

Clado	Especies
	<i>inhamatum</i> Veerkamp & W. Gams; <i>T. lentiforme</i> (Rehm) P. Chaverri, Samuels & F. B. Rocha; <i>T. lixii</i> (Pat.) P. Chaverri; <i>T. neotropicale</i> P. Chaverri & F. B. Rocha; <i>T. parepimyces</i> Jaklitsch; <i>T. pleuroti</i> S. H. Yu & M. S. Park; <i>T. pleurotica</i> S. H. Yu & M. S. Park; <i>T. pseudogelatinosum</i> (M. Komatsu & Yoshim. Doi) C. S. Kim; <i>T. pyramidale</i> Jaklitsch & P. Chaverri; <i>T. rifaii</i> F. B. Rocha, P. Chaverri & Samuels; <i>T. simmonsii</i> P. Chaverri, F. B. Rocha, Samuels & Jaklitsch; <i>T. stramineum</i> P. Chaverri & Samuels y <i>T. tawa</i> P. Chaverri & Samuels
<i>Helicum</i>	<i>T. helicum</i> Bissett, C. P. Kubicek & Szakács y <i>T. silvae-virgineae</i> Jaklitsch
<i>Hypocreanum</i>	<i>T. americanum</i> (Canham) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. austriacum</i> Jaklitsch; <i>T. citrinum</i> (Pers. Fr.) Jaklitsch, W. Gams & Voglmayr; <i>T. decipiens</i> (Jaklitsch, K. Poldmaa & Samuels) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. eucorticoides</i> (Overton) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. microcitrinum</i> (Yoshim. Doi) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. phellinicola</i> Jaklitsch; <i>T. protopulvinatum</i> (Yoshim. Doi) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. pseudostramineum</i> (Yoshim. Doi) C. S. Kim; <i>T. pulvinatum</i> (Fuckel) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. stercorarium</i> (Barrasa, A. T. Martínez & G. Moreno) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. sulphureum</i> (Schwein.) Jaklitsch & Voglmayr y <i>T. victoriense</i> (Overton) Jaklitsch & Voglmayr
<i>Leucopus</i>	<i>T. leucopus</i> Jaklitsch; <i>T. nybergianum</i> (T. Ulvinen & H. L. Chamb.) Jaklitsch & Voglmayr y <i>T. seppoi</i> Jaklitsch
<i>Longibrachiatum</i>	<i>T. aethiopicum</i> Mulaw, C. P. Kubicek & Samuels; <i>T. andinense</i> (Samuels & Petrini) Samuels, Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. bissettii</i> Sandoval-Denis & Guarro; <i>T. capillare</i> Samuels & C. P. Kubicek; <i>T. citrinoviride</i> Bissett; <i>T. effusum</i> Bissett, C. P. Kubicek & Szakács; <i>T. flagellatum</i> Mulaw, C. P. Kubicek & Szakács; <i>T. ghanense</i> Yoshim. Doi, Y. Abe & Sugiy; <i>T. gillesii</i> Samuels; <i>T. gracile</i> Samuels & Szakács; <i>T. konilangbra</i> Samuels, Petrini & C. P. Kubicek; <i>T. longibrachiatum</i> Rifai; <i>T. novae-zelandiae</i> (Samuels & Petrini) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. orientale</i> (Samuels & Petrini) Jaklitsch & Samuels; <i>T. parareesei</i> Jaklitsch, Druzhin & Atan; <i>T. parceramosum</i> Bissett; <i>T. pinnatum</i> Samuels; <i>T. pseudokoningii</i> Rifai; <i>T. reesei</i> E. G. Simmons; <i>T. saturnisporopsis</i> Samuels & Jaklitsch; <i>T. saturnisporum</i> Hammill y <i>T. solani</i> Samuels, V. Doyle & V. S. Lopez
<i>Phyllostachydis</i>	<i>T. phyllostachydis</i> P. Chaverri & Samuels y <i>T. sulawesense</i> (Yoshim. Doi) Jaklitsch & Voglmayr
<i>Polysporum</i>	<i>T. alutaceum</i> Jaklitsch; <i>T. atlanticum</i> Jaklitsch; <i>T. bavaricum</i> Jaklitsch; <i>T. europaeum</i> Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. luteffusum</i> Jaklitsch; <i>T. minutisporum</i> Bissett; <i>T. pachypallidum</i> Jaklitsch; <i>T. parapiluliferum</i> (B. S. Lu, Druzhin & Samuels) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. piluliferum</i> J. Webster & Rifai; <i>T. placentula</i> Jaklitsch; <i>T. polysporum</i> Rifai y <i>T. stellatum</i> (B. S. Lu, Druzhin & Samuels) Jaklitsch & Voglmayr
<i>Psychrophila</i>	<i>T. calamagrostidis</i> Jaklitsch; <i>T. crystalligenum</i> Jaklitsch; <i>T. megalocitrinum</i> (Yoshim. Doi) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. parmastoi</i> (Overton) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. psychrophilum</i> Jaklitsch y <i>T. rhododendri</i> (Jaklitsch & Voglmayr) Jaklitsch & Voglmayr
<i>Semiorbis</i>	<i>T. fertile</i> Bissett; <i>T. fomiticola</i> Jaklitsch; <i>T. mienum</i> C. S. Kim, Nakagiri & N. Maek; <i>T. moravicum</i> Jaklitsch; <i>T. oblongisporum</i> Bissett y <i>T. semiorbis</i> (Berk.) Jaklitsch & Voglmayr
<i>Strictipile</i>	<i>T. cuneisporum</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. longipile</i> Bissett; <i>T. spirale</i> Bissett y <i>T. strictipile</i> Bissett
<i>Stromaticum</i>	<i>T. barbatum</i> Samuels; <i>T. caesareum</i> Samuels; <i>T. floccosum</i> Samuels; <i>T. ivoriense</i> Samuels; <i>T. lanuginosum</i> Samuels; <i>T. medusae</i> Samuels; <i>T. rossicum</i> Bissett, C. P. Kubicek & Szakács; <i>T. stromaticum</i> Samuels & Pardo-Schulth y <i>T. vermipilum</i> Samuels
<i>Tomentosum</i>	<i>T. atrogelatinosum</i> (Dingley) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. ceraceum</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. cerinum</i> Bissett, C. P. Kubicek & Szakács y <i>T. tomentosum</i> Bissett
<i>Tremelloides</i>	<i>T. sambuci</i> (Jaklitsch & Voglmayr) Jaklitsch & Voglmayr y <i>T. tremelloides</i> Jaklitsch
<i>Virens</i>	<i>T. crassum</i> Bissett y <i>T. virens</i> (J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster) Arx
<i>Viride</i>	<i>T. aeroquaticum</i> K. Yamag., Tsurumi, Chuaseehar & Nakagiri; <i>T. appalachiense</i> Samuels & Jaklitsch; <i>T. asperelloides</i> Samuels; <i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg; <i>T. atroviride</i> P. Karst; <i>T. austrokoningii</i> Samuels & Druzhin; <i>T. caerulescens</i> (Jaklitsch & Voglmayr) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. composticola</i> Samuels & Jaklitsch; <i>T. dingleyae</i> Samuels & Dodd; <i>T. dorothae</i> Samuels & Dodd; <i>T. erinaceus</i> Bissett, C. P. Kubicek & Szakács; <i>T. evansii</i> Samuels; <i>T. flaviconidium</i> (P. Chaverri, Druzhin &



Clado	Especies
	Samuels) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. gamsii</i> Samuels & Druzhin; <i>T. hamatum</i> (Bonord.) Bainier; <i>T. hispanicum</i> (Jaklitsch & Voglmayr) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. intricatum</i> Samuels & Dodd; <i>T. junci</i> Jaklitsch; <i>T. koningii</i> Oudem; <i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans; <i>T. lieckfeldtiae</i> Samuels; <i>T. martiale</i> Samuels; <i>T. neokoningii</i> Samuels & Soberanis; <i>T. neorufoides</i> Jaklitsch; <i>T. neorufum</i> (Samuels, Dodd & Lieckf.) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. neosinense</i> Samuels & Jaklitsch; <i>T. ochroleucum</i> (Berk. & Ravenel) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. olivascens</i> Jaklitsch, Samuels & Voglmayr; <i>T. ovalisporum</i> Samuels & Schroers; <i>T. paratroviride</i> Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. paraviridescens</i> Jaklitsch, Samuels & Voglmayr; <i>T. paucisporum</i> Samuels, C. Suárez & K. Solis; <i>T. petersenii</i> Samuels, Dodd & Schroers; <i>T. pezizoides</i> (Berk. & Broome) Samuels, Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. pubescens</i> Bissett; <i>T. rogersonii</i> Samuels; <i>T. samuelsii</i> Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. scalesiae</i> Samuels & H. C. Evans; <i>T. stilbohypoxyli</i> Samuels & Schroers; <i>T. strigosellum</i> C. A. López-Quint., W. Gams, Boekhout & Druzhin; <i>T. strigosum</i> Bissett; <i>T. subeffusum</i> Jaklitsch; <i>T. taiwanense</i> Samuels & M. K. Wu; <i>T. theobromicola</i> Samuels & H. C. Evans; <i>T. trixiae</i> Samuels & Jaklitsch; <i>T. valdunense</i> Jaklitsch; <i>T. vinosum</i> Samuels; <i>T. viridarium</i> Jaklitsch, Samuels & Voglmayr; <i>T. viride</i> Pers; <i>T. viridescens</i> (A. S. Hoene & H. S. Will) Jaklitsch & Samuels; <i>T. viridialbum</i> Jaklitsch, Samuels & Voglmayr; <i>T. virilente</i> Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. voglmayrii</i> Jaklitsch y <i>T. yunnanense</i> Z. F. Yu & K. Q. Zhang
Otros linajes	<i>T. albolutescens</i> Jaklitsch; <i>T. catoptron</i> P. Chaverri & Samuels; <i>T. patella</i> (Cooke & Peck) Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. peltatum</i> (Berk) Samuels, Jaklitsch & Voglmayr; <i>T. pseudonigrovirens</i> P. Chaverri, Samuels & Minnis; <i>T. subalpinum</i> Jaklitsch; <i>T. taxi</i> Chu L. Zhang, F. C. Lin & C. P. Kubicek y <i>T. velutinum</i> Bissett, C. P. Kubicek & Szakács

De acuerdo con lo que encontramos en la literatura; en México se han reportado 17 especies de *Trichoderma* identificadas mediante técnicas moleculares con base en caracterización o análisis de las regiones génicas ITS y el factor de elongación 1 alfa. Las principales especies

reportadas son *T. asperellum* y *T. harzianum* (Tabla 3). La identificación molecular de las especies contribuye al proceso de caracterización de los aislamientos de interés biotecnológico en México y a una identificación más robusta.

**Tabla 3. Especies de *Trichoderma* identificadas mediante técnicas moleculares en México.**

Especies	Metodología	Región génica	Ubicación geográfica	Referencia
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	PCR punto final Secuenciación	ITS	Yucatán	Martínez-Canto <i>et al.</i> , 2021
<i>T. harzianum</i> Rifai				
<i>T. erinaceum</i> Bissett, C. P. Kubicek & Szakács				
<i>T. ghanense</i>				
<i>T. harzianum</i> Rifai	PCR punto final	ITS	Tabasco	Gomez-Mendez <i>et al.</i> , 2020
<i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans	Secuenciación Filogenia			
<i>T. harzianum</i> Rifai	PCR punto final Secuenciación	ITS	Oaxaca	Sánchez-Espinosa <i>et al.</i> , 2020
		<i>tefla</i> LSU		
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	PCR punto final Secuenciación	ITS	Morelos	Arispe <i>et al.</i> , 2019
<i>T. harzianum</i> Rifai				
<i>T. longibrachiatum</i> Rifai				



Especies	Metodología	Región génica	Ubicación geográfica	Referencia
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	PCR punto final Secuenciación Filogenia	ITS <i>tefla</i>	Toluca, Estado de México	García-Núñez <i>et al.</i> , 2017
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. citrinoviride</i> Bissett	PCR punto final Secuenciación Filogenia	ITS	Yucatán	Moo-Koh <i>et al.</i> , 2017
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. ghanense</i> Yoshim. Doi, Y. Abe & Sugiy	PCR punto final Secuenciación Filogenia	ITS	Guanajuato	Sánchez-García <i>et al.</i> , 2017
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	PCR punto final Secuenciación Filogenia	ITS <i>tefla</i>	Sonora	Montoya-González <i>et al.</i> , 2016
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	PCR punto final Secuenciación	ITS <i>tefla</i>	Chihuahua	Ríos-Velasco <i>et al.</i> , 2016
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans	PCR punto final Secuenciación Filogenia	ITS	Sonora, Chihuahua y Baja California	Hernández-Mendoza <i>et al.</i> , 2015
<i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster	PCR punto final Secuenciación Filogenia	ITS	Sinaloa	López-Valenzuela <i>et al.</i> , 2015
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	PCR punto final Secuenciación Filogenia	ITS	Sinaloa	López-Valenzuela <i>et al.</i> , 2015
<i>T. viride</i> Pers. <i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster	PCR punto final Secuenciación	ITS	Yucatán	Mis-Mut <i>et al.</i> , 2015
<i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans	PCR punto final Secuenciación	ITS	Yucatán	Mis-Mut <i>et al.</i> , 2015
<i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster	PCR punto final Secuenciación	ITS	Yucatán	Mis-Mut <i>et al.</i> , 2015
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	PCR punto final Secuenciación	ITS <i>tefla</i>	Morelos Guerrero	Ortega-García <i>et al.</i> , 2015
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	PCR punto final Secuenciación Filogenia	ITS	Tabasco	Torres-De la Cruz <i>et al.</i> , 2015
<i>T. brevicompactum</i> G. F. Kraus, C. P.				
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans				
<i>T. longibrachiatum</i> Rifai				

Especies	Metodología	Región génica	Ubicación geográfica	Referencia
<i>T. pleuroticola</i> S. H. Yu & M. S. Park <i>T. reesei</i> E. G. Simmons <i>T. spirale</i> Bissett <i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster <i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	PCR punto final Secuenciación Filogenia	Específicos de género	Chiapas Oaxaca Michoacán	Santos-Villalobos <i>et al.</i> , 2013
<i>T. crassum</i> Bissett  <i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg <i>T. hamatum</i> (Bonord.) Bainier <i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans <i>Trichoderma</i> sp. <i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg <i>T. longibrachiatum</i> Rifai <i>T. atroviride</i> P. Karst. <i>T. erinaceum</i> Bissett, C. P. Kubicek & Szakács <i>T. harzianum</i> Rifai <i>Trichoderma</i> sp.	PCR punto final Secuenciación Filogenia	ITS <i>tefla</i>	Oaxaca	Sánchez-López <i>et al.</i> , 2012
	PCR punto final Secuenciación	ITS	Sonora, Chihuahua y Baja California	Hernández- Mendoza <i>et al.</i> , 2011
	PCR punto final Secuenciación	ITS	Colima Guerrero	Guigón-López <i>et al.</i> , 2010
	PCR punto final Secuenciación Filogenia	ITS <i>tefla</i>	Quintana Roo	Hoyos-Carvajal <i>et al.</i> , 2009

### Importancia agrícola

El género *Trichoderma* incluye especies saprófitas con hábitats en suelos ricos en materia orgánica, es cosmopolita y se caracteriza por estar conformado por especies benéficas con gran adaptación al ambiente, se desarrollan con facilidad en distintos sustratos, lo que ha permitido su rápida producción masiva para su uso en el sector agrícola (Hernández-Melchor *et al.*, 2019).

*Trichoderma* al interactuar con la rizósfera vegetal promueve el crecimiento y desarrollo de plantas mediante factores de crecimiento, disminución del pH del suelo, solubilización de componentes del metabolismo vegetal, protección contra químicos tóxicos; además, las especies de este género al considerarse simbiontes

oportunistas, proveen resistencia sistémica e incluso pueden disminuir la contaminación del suelo agrícola participando en la biorremediación del mismo (Schuster y Schmoll, 2010).

El empleo de *Trichoderma* proporciona beneficios al ambiente y en el mejoramiento de la calidad de los cultivos. Por ejemplo, en México se utilizaron cepas nativas de *Trichoderma* del estado de Hidalgo para la biorremediación de suelos contaminados con atrazina; estas cepas lograron degradar el 89% de atrazina en 40 días, por lo que se considera a *Trichoderma* viable para la biorremediación del suelo (Pelcastre *et al.*, 2013). Por otra parte, se ha comprobado que *Trichoderma* promueve el crecimiento en plantas ya que la aplicación de *T. harzianum*, *T. asperellum* y *T. longibrachiatum* en plantas de tomate mejoró el

crecimiento, rendimiento y calidad de los frutos (Ruiz-Cisneros *et al.*, 2018). Aunado a ello, se comprobó que *T. atroviridae* estimuló la germinación de semillas de sorgo (Páramo-Aguilera y Hernández-Mendoza, 2017).

En México se ha evaluado la aplicación de *Trichoderma* para combatir enfermedades en cultivos de interés comercial. Por ejemplo, *T. harzianum* contribuyó a una mejor protección de plantas de cacahuete contra la infección de *Sclerotium rolsfii* en comparación con un fungicida (Michel-Aceves *et al.*, 2013). Por otro lado, *T. virens* contribuyó a reducir la formación de agallas, el número de huevos y hembras del nematodo fitopatógeno *Meloidogyne incognita* en *Solanum lycopersicum* (Chi *et al.*, 2018). Adicionalmente, se demostró el potencial biológico de *T. asperellum* para controlar el desarrollo de antracnosis ocasionada por *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de mango (Santos-Villalobos *et al.*, 2013).

### Biocontrol

Las especies de *Trichoderma* utilizan distintos mecanismos de control biológico para combatir fitopatógenos como la competencia por sustrato y espacio, antibiosis, micoparasitismo, reconocimiento, crecimiento quimiotrófico, adhesión y enrollamiento, y actividad lítica; siendo la antibiosis y el micoparasitismo los mecanismos mayormente reportados. Por su parte, el micoparasitismo se refiere a una simbiosis antagónica entre *Trichoderma* spp. y su hospedante donde el parasitismo implica el debilitamiento del

hospedante; y la antibiosis implica la secreción de metabolitos tóxicos o antibióticos sobre el hospedante sensible a éstos (Infante *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2013).

Debido a la capacidad antagonista de *Trichoderma*, la cantidad de microorganismos patógenos evaluados dentro de los que se incluyen ascomicetos, basidiomicetos, oomicetos y nematodos se sigue incrementando y diversificando. Las especies fitopatógenas reportadas en las evaluaciones de biocontrol son generalmente hongos de los géneros *Fusarium*, *Botrytis*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Macrophomina*, *Aspergillus* y *Alternaria*; así como los oomicetes *Pythium* spp. y *Phytophthora* spp, entre otros (Infante *et al.*, 2009, Amaresh *et al.*, 2019).

Actualmente, algunas especies de *Trichoderma* se consideran de interés biotecnológico debido a sus propiedades benéficas en cultivos y suelo agrícola, además de su facilidad de producción masiva, destacando *T. aureoviride*, *T. hamatum*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *T. longibrachiatum*, *T. piluliferum*, *T. polysporum*, *T. pseudokoningii* y *T. viride* (Amaresh *et al.*, 2019). En México, las especies mayormente reportadas como antagonistas son *T. asperellum* y *T. harzianum* (Tabla 4). Por su parte, los organismos fitopatógenos frecuentemente evaluados en pruebas de antagonismo con *Trichoderma* son hongos, oomicetes y nematodos; siendo las especies del género *Fusarium* las más comúnmente reportadas.

**Tabla 4. Especies de *Trichoderma* utilizadas como biocontrol en México.**

Especie	Organismo patógeno	Tipo de biocontrol	Ubicación geográfica	Referencia
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Fusarium oxysporum</i>	In vitro (cultivos duales)	Yucatán	Martínez-Canto <i>et al.</i> , 2021
<i>T. harzianum</i> Rifai	<i>Corynespora cassicola</i>			
<i>T. erinaceum</i> Bissett, C. P.				
Kubicek & Szakács				
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg				
<i>T. hamatum</i> (Bonord.) Bainier	<i>Macrophomina phaseolina</i>	In vitro e In vivo ( <i>Arachis hipogaea</i> L.)	Puebla	Martínez-Salgado <i>et al.</i> , 2021
<i>T. harzianum</i> Rifai				
<i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans				
<i>T. harzianum</i> Rifai	<i>Fusarium oxysporum</i>	In vitro (cultivos duales)	Baja California Sur	Savín-Molina <i>et al.</i> , 2021
<i>T. viride</i> Pers.				

Especie	Organismo patógeno	Tipo de biocontrol	Ubicación geográfica	Referencia
<i>T. atroviride</i> P. Karst.	<i>Fusarium solani</i> <i>Rhizoctonia solani</i>			
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Alternaria alternata</i> <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>			
<i>T. longibrachiatum</i> Rifai				
<i>T. koningii</i> Oudem <i>Trichoderma</i> sp.				
<i>T. harzianum</i> Rifai	<i>Fusarium</i> spp.	In vitro e In vivo ( <i>Musa</i> sp.)	Oaxaca	Sánchez-Espinosa et al., 2020
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Stemphylium vesicarium</i>	In vitro e In vivo ( <i>Allium cepa</i> L.)	Morelos Guerrero	Zapata-Sarmiento et al., 2020
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Fusarium oxysporum</i>	In vitro (cultivos duales)	Puebla	Andrade-Hoyos et al., 2019
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. viride</i> Pers.	<i>Phytophthora capsici</i> <i>Alternaria arborescens</i> <i>Bipolaris shoemakeri</i> <i>Bipolaris victoriae</i>			
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Epicoccum sorghinum</i> <i>Exserohilum longirostratum</i>	In vitro (cultivos duales)	Morelos	Arispe et al., 2019
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. longibrachiatum</i> Rifai	<i>Fusarium brevicatenulatum</i> <i>Penicillium polonicum</i> <i>Phaeocytostroma ambiguum</i> <i>Fusarium equiseti</i>			
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. simmonsii</i> P. Chaverri, F. B. Rocha, Samuels & Jaklitsch	<i>Meloidogyne incognita</i>	In vivo ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Yucatán	Chi et al., 2018
<i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster				
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. longibrachiatum</i> Rifai	<i>Phytophthora capsici</i> <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	In vitro (cultivos duales)	Coahuila	De la Cruz-Quiroz et al., 2018
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg				
<i>T. yunnanense</i> Z. F. Yu & K. Q. Zhang				
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Phytophthora infestans</i> <i>Alternaria solani</i> <i>Fusarium oxysporum</i>	In vitro e In vivo ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Chihuahua	Ruiz-Cisneros et al., 2018
<i>T. harzianum</i> Rifai				

Especie	Organismo patógeno	Tipo de biocontrol	Ubicación geográfica	Referencia
<i>T. longibrachiatum</i> Rifai				
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Phytophthora</i> <i>infestans</i>	In vitro (cultivos duales)	Toluca, Estado de México	García-Núñez <i>et al.</i> , 2017
<i>T. harzianum</i> Rifai				
<i>T. harzianum</i> Rifai				
<i>T. atroviride</i> P. Karst.	<i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i>	In vivo ( <i>Capsicum</i> <i>annuum</i> L.)	Yucatán	Herrera-Parra <i>et al.</i> , 2017
<i>T. virens</i> H. Mill, Giddens & A. A. Foster				
<i>T. atroviridae</i> P. Karst.	<i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i>	In vitro (cultivos duales)	Ciudad de México	Páramo-Aguilera y Hernández- Mendoza, 2017
<i>T. viride</i> Pers.	<i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i>			
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i>	In vitro (cultivos duales)	Guanajuato	Sánchez-García <i>et al.</i> , 2017
<i>T. harzianum</i> Rifai	<i>Fusarium solani</i> <i>verticillioides</i>			
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Setophoma</i> <i>terrestris</i>	In vitro (cultivos duales)	Sonora	Montoya- González <i>et al.</i> , 2016
<i>T. harzianum</i> Rifai				
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>Penicillium</i> <i>crustosum</i> <i>Alternaria alternata</i> <i>Aspergillus</i> <i>nidulans</i>	In vitro (cultivos duales)	Chihuahua	Ríos-Velasco <i>et al.</i> , 2016
<i>T. harzianum</i> Rifai				
<i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans	<i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i>	In vitro (cultivos duales)	Sonora, Chihuahua y Baja California	Hernández- Mendoza <i>et al.</i> , 2015
<i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster				
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Phymatotrichopsis</i> <i>omnivora</i>	In vitro (cultivos duales)	Sinaloa	López-Valenzuela <i>et al.</i> , 2015
<i>T. koningiopsis</i> Samuels, C. Suárez & H. C. Evans				
<i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster	<i>Fusarium</i> spp.	In vitro (cultivos duales)	Yucatán	Mis-Mut <i>et al.</i> , 2015
<i>T. harzianum</i> Rifai	<i>Sclerotium rolfsii</i>	In vitro e In vivo ( <i>Arachis hipogaea</i> L.)	Guerrero	Michel-Aceves <i>et al.</i> , 2013

Especie	Organismo patógeno	Tipo de biocontrol	Ubicación geográfica	Referencia
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	In vitro e In vivo ( <i>Mangifera indica</i> L.)	Chiapas Oaxaca Michoacán	Santos-Villalobos <i>et al.</i> , 2013
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Phytophthora capsici</i> <i>Fusarium oxysporum</i>	In vitro (cultivos duales)	Durango	Barragán-Valencia <i>et al.</i> , 2011
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Macrophomina phaseolina</i>	In vitro (cultivos duales)	Sonora, Chihuahua y Baja California	Hernández-Mendoza <i>et al.</i> , 2011
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>Macrophomina phaseolina</i>	In vitro (cultivos duales)	Colima Guerrero	Guigón-López <i>et al.</i> , 2010
<i>T. longibrachiatum</i> Rifai	<i>Phymatotrichopsis omnivora</i> <i>Fusarium</i> sp.			

### Aplicaciones en la agricultura

Las especies de *Trichoderma* se han utilizado en el área agrícola debido a sus habilidades antagonistas, fácil manipulación y ubicuidad. Diversas investigaciones enfocadas en el biocontrol han permitido el desarrollo de biofungicidas agrícolas comerciales basados en *Trichoderma* para el control de enfermedades, así como el mantenimiento de las condiciones idóneas del suelo de diversos cultivos de importancia comercial (Hernández-Melchor *et al.*, 2019).

Además de promover el desarrollo de cultivos sanos, los productos biológicos comercializados contribuyen a contrarrestar las repercusiones negativas en el ámbito ecológico, ambiental y económico que implica el uso de productos químicos en el control de enfermedades en los cultivos. Por lo tanto, se ha impulsado la comercialización de productos biológicos a nivel mundial con el objetivo de mantener los suelos ricos en nutrientes con su microbiota libre de patógenos para lograr una producción agrícola sustentable. Las especies de *Trichoderma* reportadas a nivel internacional en productos

comercializados en la agricultura son: *T. harzianum*, *T. atroviride*, *T. viride*, *T. asperellum*, *T. gamsii*, *T. hamatum*, *T. virens*, *T. afroharzianum*, *T. koningii*, *T. guizhouense*, *T. simmonsii*, *T. reesei* y *Trichoderma* spp.; las cuales se han aplicado en diferentes cultivos de importancia como por ejemplo: arroz, maíz, trigo, cebada, garbanzo, algodón, cítricos, café, papa, tomate, cebolla, fresa, calabaza, melón, kiwi, chile, mango, uva, lechuga, árboles forestales y plantas ornamentales, entre otros (Samuels y Hebbbar, 2015).

En México existen diversos laboratorios reproductores y comercializadores de agentes de control biológico destacando *T. harzianum* como la especie principalmente comercializada y Sinaloa como el principal estado productor y comercializador (Tabla 5) (SENASICA, 2021). *Trichoderma* se comercializa en distintas presentaciones como biofertilizante, fungicida agrícola, agente microbiano, bioprotectante, fungicida orgánico, entre otros en donde se utiliza como ingrediente activo en formulaciones a las que se adiciona un coadyuvante que permita su fácil manejo, aplicación y efectividad (García de León y Mier, 2010; Hernández-Melchor *et al.*, 2019).

**Tabla 5. Laboratorios reproductores y comercializadores de agentes de control biológico en México (SENASICA, 2021).**

Cepa	Laboratorio	Ubicación
<i>T. harzianum</i> Rifai	Centro de reproducción y estudio de organismos benéficos del ingenio Pujiltilic	Chiapas
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. viride</i> Pers. <i>T. koningii</i> Oudem	Organismos benéficos hongos, insectos, nematodos	Chiapas

<b>Cepa</b>	<b>Laboratorio</b>	<b>Ubicación</b>
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg <i>T. longibrachiatum</i> Rifai <i>T. viride</i> Pers.	Analógicos Tacana S.A. de C.V.	Chiapas
<i>T. harzianum</i> Rifai	Control biológico A.C.	Chihuahua
<i>T. harzianum</i> Rifai	Crerob-Cesavecoh	Coahuila
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. viride</i> Pers.	Laboratorio reproductor de organismos benéficos Nocon S.A de C.V.	Estado de México
<i>Trichoderma</i> sp.	Provedora de servicio para el campo, S.A de C.V.	Estado de México
<i>T. harzianum</i> Rifai	Laboratorio de reproducción de organismos benéficos del Cesaveg	Guanajuato
<i>Trichoderma</i> sp.	Biokrone S.A. de C.V.	Guanajuato
<i>T. harzianum</i> Rifai	Tecnologías naturales internacional, S.A. de C.V.	Guanajuato
<i>T. asperellum</i> Samuels, Lieckf. & Nirenberg <i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. virens</i> J. H. Mill, Giddens & A. A. Foster	Grupo Solena S.A.P.I. de C.V.	Guanajuato
<i>T. harzianum</i> Rifai	Alta tecnológica agrotécnica SPR. De R.L. de C.V.	Jalisco
<i>T. harzianum</i> Rifai	Biotecnología agroindustrial S.A. de C.V.	Michoacán
<i>T. harzianum</i> Rifai	Bio-bich de México S.A. de C.V.	Michoacán
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. viride</i> Pers.	Productos orgánicos de nueva Italia S.P.R. de R.L.	Michoacán
<i>T. lignorum</i> Tochinai & Shimada <i>Trichoderma</i> spp.	Cesavemor	Morelos
<i>T. harzianum</i> Rifai	Ultraquimia agrícola S.A. de C.V.	Morelos
<i>Trichoderma</i> spp.	Organismos benéficos de Nayarit	Nayarit
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. viride</i> Pers.	Laboratorio reproductor de organismos benéficos del sureste S.A.	Oaxaca
<i>T. harzianum</i> Rifai <i>T. lignorum</i> Tochinai & Shimada <i>Trichoderma</i> spp.	Agroindustria fungi-agrícola de oriente S.P.R de R.I.	Puebla
<i>T. harzianum</i> Rifai	Islavel S.A. de C.V.	Puebla



Cepa	Laboratorio	Ubicación
<i>T. viride</i> Pers.		
<i>T. aureoviridae</i> Rifai	Centro reproductor de organismos benéficos de Villa de Arista	San Luis Potosí
<i>T. harzianum</i> Rifai	Agrobiológicos del Noroeste S.A. de C.V.	Sinaloa
<i>Trichoderma</i> sp.	Centro Internacional de Capacitación, Verificación e Inspección S.A. de C.V. (CICOVI)	Sinaloa
<i>T. harzianum</i> Rifai	Agrobiosol de México S.A. de C.V.	Sinaloa
<i>T. viride</i> Pers.	Sinquímica S.A. de C.V.	Sinaloa
<i>T. harzianum</i> Rifai	Unidad de reproducción de insectos benéficos de Sinaloa (URIBSIN)	Sinaloa
<i>T. viride</i> Pers.		
<i>T. harzianum</i> Rifai	Laboratorio en Biotecnología aplicada Agrícola S.A. de C.V.	Tamaulipas
<i>T. harzianum</i> Rifai	Biotecnología Andreb S.A de C.V.	Veracruz

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de la información obtenida a la fecha de la redacción de esta revisión, las especies de *Trichoderma* resultan benéficas e indispensables para mantener los suelos en las condiciones ideales para la agricultura. La identificación morfológica, en especies de *Trichoderma*, por sí sola es difícil. En México, la identificación de especies de *Trichoderma* se realiza complementando la identificación morfológica con la identificación molecular. Los estudios realizados en México han utilizado hasta 3 regiones génicas para discernir entre especies de *Trichoderma*; no obstante, es necesario aumentar el número de biomarcadores basados en regiones variables del genoma puesto que con un mayor número de fragmentos de genes analizados se pudiera aumentar la robustez del poder discriminatorio en la identificación molecular. Actualmente se ha incrementado el número de reportes de especies de *Trichoderma*, las cuales se evalúan por su actividad antagonista y se utilizan como biocontrol de patógenos que afectan cultivos de importancia comercial. En México se emplean recursos biotecnológicos para aplicar en campo los conocimientos obtenidos en el área de identificación y biocontrol; en diversas regiones del país se comercializan principalmente biofertilizantes basados en especies de *Trichoderma* con el objetivo de promover la agricultura sustentable. Por lo tanto, es importante destacar la necesidad de nuevos estudios que contribuyan a la transferencia de conocimiento al área aplicada.

## Agradecimientos

Al Proyecto PROFAPI 2022 “PRO-A7-078”- Caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de *Trichoderma* spp. en humus líquido de uso agrícola en Sinaloa. <https://sites.google.com/a/uas.edu.mx/dgipweb/profapi>

**Funding.** The research was financed by PROFAPI 2022 “PRO-A7-078”- Caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de *Trichoderma* spp. en humus líquido de uso agrícola en Sinaloa.

**Conflict of Interest.** The authors declare that they do not have conflicts of interest.

**Compliance with ethical standards.** Does not apply.

**Data availability:** Does not apply.

## Author contribution statement (CRediT).

**Allende-Molar R.** – Data curation, writing – review and editing. **Báez-Parra K.M.** - writing – review and editing. **Salazar-Villa E.** – writing – review and editing. **Rojo-Báez I.** - Funding acquisition, writing – review and editing.

## REFERENCIAS

Álvarez, M.G., 1976. Primer catálogo de enfermedades de plantas mexicanas. *Fitofilo*, 71, pp. 1-169.

- Amaresh, Y.S., Chennappa, G., Avinash, S., Nai, M.K. and Sreenivasa, M.Y., 2019. *Trichoderma*- A new strategy in combating agricultura problems. In: Elsevier, *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, Elsevier. Pp:235-244. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818258-1.00015-7>
- Andrade-Hoyos, P., Luna-Cruz, A., Osorio-Hernández, E., Molina-Gayosso, E., Landero-Valenzuela, N., and Barrales-Cureño, H. J., 2019. Antagonismo de *Trichoderma* spp. vs hongos asociados a la marchitez de chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), pp. 1259-1272. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1326>
- Argumento-Delira, R., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz, J.J. and Peña-Cabrales, J.J., 2012. Tolerance and growth of 11 *Trichoderma* strains to crude oil, naphthalene, phenanthrene and benzo[ $\alpha$ ]pyrene. *Journal of Environmental Management*, 95, pp. S291-S299. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.011>
- Arispe-Vazquez, J. L., Sánchez-Arizpe, A., Galindo-Cepeda, M. E., Vazquez-Badillo, M. E., Oervides-García, A., and Rodríguez-Guerra, R., 2019. Antagonismo de *Trichoderma* spp. en hongos asociados al daño de *Diatraea saccharalis* Fabricius. (Lepidoptera: Crambidae) en maíz. *Boletín Micológico*, 34(2), pp. 17-24. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2019.34.2.1802>
- Arrazate-Argueta, Víctor del C., Martínez-Bolaños, M., Ayala-Escobar, V., Avendaño-Arrazate, C. H., and Hernández-Morales, J., 2019. Diversidad morfológica y fisiológica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. en suelos cacaoteros de México. *Agroproductividad* 12(12), pp. 3-10. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi01529>
- Arzate-Vega, J., Michel-Aceves, A. C., Domínguez-Márquez, V. M., and Santos-Eméstica, O. A., 2006. Antagonismo de *Trichoderma* spp. sobre *Mycosphaerella fijensis* Morelet, agente causal de la Sigatoka negra del plátano (*Musa* sp.) *in vitro* e invernadero. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24. Pp. 98-104.
- Askew, D.J., AND Laing, M.D., 1993. An adapted selective medium for the quantitative isolation of *Trichoderma* species. *Plant Pathology*, 42, pp. 686-690.
- Barnett H and Hunter B., 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. EE. UU. Burgess Publ. Co. 241p.
- Barnett, H. L. y Hunter, B. B., 1998. Illustrated genera of imperfect fungi. Four Edition. APS Press. St. Paul, Minnessota. Pp 241.
- Barragán-Valencia, G., Hernández-Vargas, V., Uribe-Soto, J. N., Naranjo-Jimenez, N., and Herrera-Corral, J., 2011. *Trichoderma* sp. native from chili region of poanas, Durango, Mexico antagonist against phytopathogen fungi. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(2), pp. 185-188.
- Bisset, J., 1991. A revision of the genus *Trichoderma* II. Section Pachybasium. *Canadian Journal of Botany*, 69, pp. 2373-2417.
- Bissett, J.W., Gams, W and Jaklitsch G. J., 2015. *Trichoderma* names in the year 2015. *IMA Fungus* 6:263-295. <https://doi.org/10.5598/ima fungus.2015.06.02.02>.
- Bissett, J., 1984. A revision of the genus *Trichoderma* I. Sect. *Longibrachiatum* sect. nov. *Canadian Journal of Botany*, 62, pp. 924-931.

- Bissett, J., 1992. *Trichoderma atroviride*. *Canadian Journal of Botany*, 70, pp. 639–641.
- Cetz-Chi, J. I., Cristóbal-Alejo, J., Tún-Suárez, J. M., Peraza-Luna, F. A., and Candelero-De la Cruz, J., 2018. Especies nativas de *Trichoderma* spp. y su actividad antagónica contra *Meloidogyne incognita* en *Solanum lycopersicum* L. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(73), pp. 5-12. <https://doi.org/10.33064/ycuaa201873136>
- Chaverri, P., L. A. Castlebury, B. E. Overton y G. J. Samuels., 2003. *Hypocrea/Trichoderma*: species with conidiophores elongations and green conidia. *Mycologia*, 95, pp. 1100-1140. DOI: <https://dx.doi.org/10.2307/3761915>
- Chaverri, P. and Samuels, G.J. 2003. *Hypocrea/Trichoderma* (Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae): Species with Green ascospores. *Studies in Mycology*, 48, pp. 1-116.
- De la Cruz-Quiroz, R., Roussos, S., Rodríguez-Herrera, R., Hernández-Castillo, D., and Aguilar, C. N., 2018. Growth inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Phytophthora capsici* by native Mexican *Trichoderma* strains. *Karbala International Journal of Modern Science*, 4(2), pp. 237-243. <https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2018.03.002>
- Dettman, J., Jacobson D.J., and Taylor, J.W., 2003. A multilocus genealogical approach to the phylogenetic species recognition in the model eukaryote *Neurospora*. *Evolution*, 57, pp. 2703-2720. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2003.tb01514.x>
- Domsch, K. H., W. Gams y T. H. Anderson., 1980. Compendium of soil fungi. Volume 1. *Academic Press*. London, UK. Pp. 1-860.
- Dugan, F. M., 2006. The Identification of fungi. An illustrated introduction with keys, glossary, and guide to literature. The American Phytopathological Society. U.S Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington State University, Pullman. *APS Press*. USA. St. Paul, Minnesota USA. 176p.
- Druzhinina, I.S., Kopchinskiy, A., and Kubicek, C.P., 2006. The first 100 *Trichoderma* species characterized by molecular data. *Mycoscience*, 47, pp. 55-64. <https://doi.org/10.1007/S10267-006-0279-7>
- Elad, Y., and Chet, I., 1983. Improved selective medium for isolation of *Trichoderma* spp. or *Fusarium* spp. from soil. *Phytoparasitica*, 11, pp. 55-58.
- Farr, D.F. and Rossman, A.Y., 2022. Fungal Databases, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. Retrieved March 6, 2022, from <https://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/>
- Gams, W., and Bissett, J., 1998. Morphology and identification of *Trichoderma*. In: *Trichoderma & Gliocadium*, Vol.1 Basic Biology, Taxonomy and Genetics, C.P. Kubicek and G.E. Harman, eds. Taylor & Francis, London. Pp 3-34
- García de León, S., and Mier, T., 2010. Visión general de la producción y aplicación de bioplaguicidas en México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 10, pp. 37-63.
- García-Núñez, H. G., Martínez-Campos, A. R., Hermosa-Prieto, M. R., Mont-Vázquez, E. Aguilar-Ortigoza, C. J., and González-Esquivel, C. E., 2017. Morphological and molecular characterization of native isolates of *Trichoderma* and its potential biocontrol against

- Phytophthora infestans*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35, pp. 58-79.  
<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1605-4>
- Gil, S.V., Pastor, S. and March, G.J., 2009. Quantitative isolation of biocontrol agents *Trichoderma* spp., *Gliocladium* spp. and actinomycetes from soil with culture media. *Microbiological Research*, 164, pp. 196:205.  
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.11.022>
- Gómez-Méndez, E., Brito-Vega, H., Lopéz-Ferrer, U. de C., Salaya-Domínguez, J. M., Salinas-Hernández, R. M., Gómez-Vázquez, A., and Cruz-Hernández, A., 2020. The morphological and molecular characterization of *Trichoderma* spp. in cocoa agroforestry system. *Open Science Journal* 5(4), pp. 1-14. <https://doi.org/10.23954/osj.v5i4.2407>
- González-Cárdenas, J. C., Maruri-García, J. M., and González-Acosta, A., 2005. Evaluación de diferentes concentraciones de *Trichoderma* spp. contra *Fusarium oxysporum* agente causal de la pudrición de plántulas en papaya (*Carica papaya* L.) en Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 5(1), pp. 45-47.
- Guigón-López, C., Guerrero-Prieto, V., Vargas-Albores, F., Carvajal-Millan, E., Ávila-Quezada, G. D., Bravo-Luna, L., Ruocco, M., Lanzuise, S., Woo, S., and Lorito, M., 2010. Identificación molecular de cepas nativas de *Trichoderma* spp. su tasa de crecimiento *in vitro* y antagonismo contra hongos fitopatógenos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28, pp. 87-96.
- Heredia, G., Ulloa, M. and Sosa, V.J., 1988. Comparative study of fungal communities of soil and rhizosphere of spinach plants cultivated in chinampas. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 30, pp.155-161.
- Heredia, G., 1993. Mycoflora associated with green leaves and leaf litter of *Quercus germana*, *Quercus sartorii* and *Liquidambar styraciflua* in a Mexican cloud forest. *Cryptogamie Mycologie*, 14, pp. 171-183.
- Hernández-Melchor, D.J., Ferrera-Cerrato, R and Alarcón A., 2019. *Trichoderma*: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences (ex Agro-Ciencia)*, 35(1), pp. 98-112.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205>
- Hernández-Mendoza, J. L., Sánchez-Pérez, M. I., García-Olivares, J. G., Mayek-Pérez, N., González-Prieto, J. M., and Quiroz-Velásquez, J. D. C., 2011. Caracterización molecular y agronómica de aislados de *Trichoderma* spp. nativos del noroeste de México. *Revista Colombiana Biotecnológica*. 8(2): 176-185.
- Hernández-Mendoza, J. L., Sánchez-Pérez, M. I., González-Prieto, J. M., Quiroz-Velásquez, J. D., García-Olivares, J. G., and Gill-Langarica, H. R., 2015. Antibiosis of *Trichoderma* spp. strains native to northeastern Mexico against the pathogenic fungus *Macrophomina phaseolina*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46, 4, pp.1093-1101.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S1517-83826420120177>
- Herrera-Parra, E., Cristóbal-Alejo, J., and Ramos-Zapata, J. A., 2017. *Trichoderma* strains as growth promoters in *Capsicum annum* and as biocontrol agents in *Meloidogyne incognita*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 77, 4, pp. 318-324.

- <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392017000400318>
- Howell, R.C., 1999. Selective isolation from soil and separation *in vitro* of P and Q strains of *Trichoderma virens* with differential media. *Mycologia*, 91, pp. 930-934. <https://doi.org/10.1080/00275514.1999.12061103>
- Hoyos-Carvajal, L., Orduz, S., and Bissett, J., 2009. Genetic and metabolic biodiversity of *Trichoderma* from Colombia and adjacent neotropic regions. *Fungal Genetics and Biology*, 46, pp. 615-631. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2009.04.006>
- Infante, D., Martínez, B., González, N. y Reyes, Y., 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*, 24(1), pp.14-21. Recuperado en 29 de abril de 2022, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-27522009000100002&lng=es&tln\\_g=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522009000100002&lng=es&tln_g=es).
- Jaklitsch, W.M., 2011. European species of *Hypocrea*. Part II: Species with hialine ascospores. *Fungal Diversity*, 48:1-250. <http://dx.doi.org/10.1007/s13225-011-008-y>
- Lantz, S.E., Goedegebuur, F., Hommes, R., Kaper, T., Kelemen, B.R., Mitchinson, C., Wallace, L., Stahlberg, J. and Larenas, E.A., 2010. *Hypocrea jecorina* CEL6A protein engineering. *Biotechnology for Biofuels*, 3:20. <http://dx.doi.org/10.1186/17544-6834-3-20>
- López-Valenzuela, B. E., Armenta-Bojórquez, A. D., Hernández-Verdugo, S., Apodaca-Sánchez, M. A., Samaniego-Gaxiola, J. A., Leyva-Madriga, K. Y., and Valdez-Ortiz, A., 2015. Selección *in vitro* e identificación de aislados de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. nativos para el control de *Phymatotrichopsis omnivora*. *Información Técnica Económica Agraria (ITEA)*, 111, pp. 310-325. <http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.020>
- Martínez, B., Infante, D. and Reyes Y., 2013. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista Protección Vegetal*, 28, pp. 1-11
- Martínez-Canto, O. J., Cristóbal-Alejo, J., Tun-Suárez, J. M., and Reyes-Ramírez, A., 2021. Detección de genes Epl1 y Sml en *Trichoderma* spp., antagonistas contra hongos fitopatógenos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8, pp. e2791. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2791>
- Martínez-Salgado, S. J., Andrade-Hoyos, P., Parraguirre-Lezama, C., Rivera-Tapia, A., Luna-Cruz, A., and Romero-Arenas, O., 2021. Biological control of charcoal rot in peanut crop through strains of *Trichoderma* spp., in Puebla, México. *Plants*, 10, pp. 2630. <https://doi.org/10.3390/plants10122630>
- Michel-Aceves, A. C., Otero-Sánchez, M. A., Ariza-Flores, R., Barrios-Ayala, A., and Alarcón-Cruz, N., 2013. Eficiencia biológica de cepas nativas de *Trichoderma* spp., en el control de *Sclerotium rolfsii* Sacc., en cacahuete. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3) pp. 89-107.
- Mis-Mut, M. R., Cristóbal-Aleo, J., Tun-Suárez, J. M., Reyes-Ramírez, A., and Moo-Koh, F. A., 2015. Identificación molecular de dos cepas de *Trichoderma* y su actividad *in vitro* antagónica contra *Fusarium* spp. *Revista Protección Vegetal*, 30 (Suppl 1), pp. 69-69. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-27522015000400046&lng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522015000400046&lng=es).



- Montoya-González, A. H., Quijano-Vicente, G., Morales-Maza, A., Ortiz-Uribe, N., and Hernández-Martínez, R., 2016. Isolation of *Trichoderma* spp. from desert soil, biocontrol potential evaluation and liquid culture production of conidia using agricultural fertilizers. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 7, pp. 163. <https://doi.org/10.4172/2471-2728.1000163>
- Moo-Koh, F. A., Cristóbal-Alejo, J., Reyes-Ramírez, A., Tun-Suárez, J. M., and Gamboa-Angulo, M., 2017. Identificación molecular de aislados de *Trichoderma* spp y su actividad promotora en *Solanum lycopersicum* L. *Investigación y Ciencias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 25, pp. 5-11. <https://doi.org/10.33064/iycuaa201771335>
- Nirenberg, H.I., 1976. Untersuchungen über die morphologische und biologische differenzierung in der *Fusarium* Sektion *Liseola*. *Mitt Biol. Bundesanst. Land-Forstw., Berlin-Dahlem* 169: i-v, pp. 1-117.
- Ortega-García, J.G., Montes-Belmont, R., Rodríguez-Monroy, M., Ramírez-Trijillo, J.A., Suárez-Rodríguez, R. and Sépulveda-Jiménez G., 2015. Effect of *Trichoderma asperellum* applications and mineral fertilization on growth promotion and the content of phenolic compounds and flavonoids in onions. *Scientia Horticulturae*, 195, pp. 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.027>
- Papavizas, G.C., and Lumsden, R.D., 1982. Improved medium for isolation of *Trichoderma* spp. from soil. *Plant Disease*, 66, pp. 1019-1020
- Park, M. S., K. S. Bae and S. H. Yu., 2006. Two new species of *Trichoderma* associated with green mold of oyster mushroom cultivation in Korea. *Mycobiology*, 34: 111-113. <https://dx.doi.org/10.4489/MYCO.2006.34.3.111>
- Pelcastre, M.I., Villagómez, I.J.R., Madariaga, N.A., Castro, R.J., González, R.C.A. and Acevedo, S. O.A., 2013. Bioremediation perspectives using autochthonous species of *Trichoderma* sp. for degradation of atrazine in agricultural soil from the Tulancingo Valley, Hidalgo, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16, pp. 265-276. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1685/818>
- Rifai, M.A., 1969. A revisión of the genus *Trichoderma*. *Mycological Papers*, 116, pp. 1-56.
- Ríos-Velasco, C., Caro-Cisnero, J. N., Berlanga-Reyes, D. I., Ruíz-Cisnero, M. F., Ornelas-Paz, J. J., Salas-Marina, M. A., Villalobos-Pérez, E., and Guerrero-Prieto, V. M., 2016. Identification and antagonistic activity *in vitro* of *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp. isolates against common phytopathogenic fungi. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 34, pp. 84-99. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1507-1>
- Rodríguez, M.C., Evans, H.C., Abreu, L.M., Macedo, D.M., Ndacnou, M.K. Bekele, K.B and Barreto R.W., 2021. New species and records of *Trichoderma* isolated as mycoparasites and endophytes from cultivated and wild coffee in Africa. *Scientific Reports*, 11, pp. 5671. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84111-1>
- Ruiz-Cisneros, M.F., Ornelas-Paz, J.J., Olivas-Orozco, G.I., Acosta-Muñiz, C.H., Sépulveda-Ahumada, D.R., Pérez-Corral, D.A., Rios-Velasco, C., Salas-Marina, M.A and Fernández-Pavía, S.P., 2018. Effect of *Trichoderma* spp. and phytopathogenic fungi on plant growth and tomato fruit

- quality. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36, pp. 444-456. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1804-5>
- Samuels, G.J., Petrini, O., Kuhls, K., Lieckfeldt, E., and Kubicek, C.P., 1998. The *Hypocrea schweinitzii* complex and *Trichoderma* sect. *Longibrachiatum*. *Studies in Mycology*, 41, pp. 1-54.
- Samuels, G.J., Lieckfeldt, E. and Nirenberg, H.I., 1999. *Trichoderma asperellum*, a new species with warted conidia, and redescription of *T. viride*. *Sydowia*, 51, pp. 71-88.
- Samuels, G. J., Chaverri, P., Farr, D. F. and McCray, E. B., 2002a. *Trichoderma* online. Systematic mycology and microbiology laboratory, ARS, USDA.: <http://nt.ars-grin.gov>
- Samuels, G. J., Dodd, S. L., Gams, W., Castlebury, L. A., and Petrini, O., 2002b. *Trichoderma* species associated with the green mold epidemic of commercially grown *Agaricus bisporus*. *Mycology*, 94, pp. 146-170. <https://dx.doi.org/10.2307/3761854>
- Samuels, G. J., 2006. *Trichoderma*: Systematics, the sexual state, and ecology. *Phytopathology* 96, pp. 195-206.
- Samuels, G. J., Chaverri, P., Farr D. F. and McCray E.B., 2009. *Trichoderma* online. Systematic Mycology and Microbiology Laboratory. <http://nt.arsgrin.gov/taxadescriptions/keys/TrichodermaIndex.cfm> (consultado abril de 2022).
- Samuels, G. J. and Ismaiel A. 2009. *Trichoderma evansii* and *T. lieckfeldtiae*: two new *T. hamatum*-like species. *Mycologia* 101, pp. 142-156. <https://doi.org/10.3852/08-161>
- Samuels, G.J. and Ismaiel, A., 2011. *Hypocrea peltata*: A micological Dr. Jeckyll and Mr. Hyde? *Mycologia*, 103, pp. 616-630. <https://doi.org/10.3852/10-227>
- Samuels, G.J., Ismaiel, A., Mulaw, T.B., Szakacs, G., Druzhinina, I.S., Kubicek, C.P. and Jaklitsch, W.M., 2012. The Longibrachiatum clade of *Trichoderma*: A revision with new species. *Fungal Diversity*, 55, pp. 77-108. <https://doi.org/10.1007/s13225-012-0152-2>
- Samuels, G.J. and Hebbbar, P.K., 2015. *Trichoderma*: Identification and agricultural applications. St. Paul, Minnesota. APS Press: The American Phytopathological Society.
- Sánchez-Espinosa, A. C., Villarruel-Ordaz, J. L., and Maldonado-Bonilla, L. D., 2020. Mycoparasitic antagonism of a *Trichoderma harzianum* strain isolated from banana plants in Oaxaca, Mexico. *Biotecnia*, 1, pp.127-134. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1310>
- Sánchez-García, B. M., Espinosa-Huerta, E., Villordo-Pineda, E., Rodríguez-Guerra, R., and Mora-Avilés, M. A., 2017. Identificación molecular y evaluación antagonista *in vitro* de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre hongos fitopatógenos de raíz en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Montcalm. *Agrociencia*, 51, pp.63-79.
- Sánchez-Hernández, L., Arias-Mota, R. M., Rosique-Gil, J. E., and Pacheco-Figueroa, C. J., 2018. Diversidad del género de *Trichoderma* (*Hypocreaeae*) en un área natural protegida en Tabasco, México. *Acta Botánica Mexicana*, 123, pp. 167-182. <https://dx.doi.org/10.21829/abm123.2018.1269>
- Sánchez-López, V., Martínez-Bolaños, L., Zavala-González, E., and Ramírez-Lepe, M., 2012. Nuevos registros de *Trichoderma crassum* para México y su variación morfológica en diferentes ecosistemas. *Revista*



- Mexicana de Micología*, 36, pp.17-26.
- Santos-Villalobos, S. S., Guzmán-Ortiz, D. A., Gómez-Lim, M. A., Délano-Frier, J. P., De-Folter, S., Sánchez-García, P., and Peña-Cabriales, J. J., 2013. Potetial use of *Trichoderma asperellum* (Samuel, Liechfeldt et Nirenberg) T8a as a biological control agent against anthracnose in mango (*Mangifera indica* L.). *Biological Control*, 64, pp. 37-44. <https://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.10.006>
- Savín-Molina, J., Hernández-Montiel, LG., Ceiro-Catazú, W., Ávila-Quezada, GD., Palacios-Espinoza, FH. and Romero-Bastidas, M., 2021. Morphological characterization and biocontrol potential of *Trichoderma* species isolated from semi-arid soils. *Mexican Journal of Phytopathology*, 39(3), pp. 435-451. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2106-7>
- Schuster, A. and Schmoll, M., 2010. Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87, pp.787-799. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2632-1>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) 2021. Directorio de Laboratorios reproductores y comercializadores de agentes de control biológico. Accesado el 15 de marzo de 2022 en: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/directorio-de-laboratorios-reproductores-y-comercializadores-de-agentes-de-control-biologico>.
- Sikora, R.A., Pocasangre L., Zum, F.A., Niere, B., Vu, T.T. and Dababat, A.A., 2008. Mutualistic endophytic fungi and in-planta suppressiveness of plant parasitic nematodes. *Biological Control*, 46, pp.15-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.02.011>
- Torres-De la Cruz, M., Ortiz-García, C. F., Bautista-Muñoz, C., Ramírez-Pool, J. A., Ávalos-Contreras, N., Cappello-García, S., and De la Cruz-Pérez, A., 2015. Diversidad de *Trichoderma* en el agroecosistema cacao del estado de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86, pp. 947-961. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2015.07.012>
- Von Arx, J.A., 1981. The genera of fungi sporulating in pure culture. J. Cramer, Vaduz, Suiza, Alemania. Pp 424.
- Watanabe T., 2010. Pictorial atlas of soil and seed fungi. Morphologies of cultured fungi and key to species. Third edition. CRS Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton London New York. 404 p.
- Williams, J., Clarkson, J.M., Mills, P.R., and Cooper, R.M., 2003. A selective medium for quantitative reisolation of *Trichoderma harzianum* from *Agaricus bisporus* compost. *Applied and Environmental Microbiology*, 69, pp. 4190-4191. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.69.7.4190-4191.2003>
- Xu, J., 2016. Fungal DNA barcoding. *Genome*, 11, pp. 913-932. <http://dx.doi.org/10.1139/gen-2016-0046>
- Zapata-Sarmiento, D.H., Palacios-Pala, E.F., Rodríguez-Hernández, A.A. Medina-Melchor, D.L., Rodríguez-Monroy, M. and Sepúlveda-Jiménez, G., 2020. *Trichoderma asperellum*, a potential biological control agent of *Stemphylium vesicarium*, on onion (*Allium cepa* L.). *Biological Control*, 140, pp. 104105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.1044105>