

Identificación molecular y evaluación patogénica de trece aislamientos de *Trichoderma* spp. frente a *Rhizoctonia solani* Kühn

✉ Danay Infante¹, Benedicto Martínez¹, Belkis Peteira¹, Yusimy Reyes², Alfredo Herrera³

¹Grupo de Fitopatología, Dirección de Protección de Plantas, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, Censa

Autopista Nacional km 23½, AP 10, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

²Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, UNAH

Autopista Nacional km 23½, AP 10, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

³Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad, Langebio,

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Cinvestav, Instituto Politécnico Nacional, IPN

CP 36821, Irapuato, Guanajuato, México

E-mail: danay@censa.edu.cu

INVESTIGACIÓN

RESUMEN

La incidencia de las enfermedades causadas por *Rhizoctonia solani* Kühn en las plantas aumenta cada año. Su control es fundamentalmente con productos químicos, en su mayoría muy tóxicos. Por tal razón, se investigan alternativas bioplaguicidas. *Trichoderma* spp. es uno de los hongos más utilizados para el control biológico de plagas, por sus propiedades y mecanismos de acción: competencia por el sustrato, antibiosis y micoparasitismo. Este trabajo tuvo como objetivos la identificación molecular y evaluación patogénica de 13 aislamientos del género *Trichoderma* frente a aislamientos de *R. solani*. Se evaluó su efecto antibiótico sobre aislamientos de 3 grupos de anastomosis de *R. solani* (AG-2.1, AG-5, AG-8) por el método de celofán. La identificación molecular partió de la secuenciación del espaciador interno del transcrito de la región del ADN ribosomal y del factor de elongación de la traducción EF1A. Más del 70 % de los aislamientos evaluados ejerció un efecto fungistático; mientras que el resto actuó como fungicida. La evaluación de la eficacia técnica en condiciones de campo corroboró estos resultados. A partir de la secuenciación y comparación de los datos de las secuencias depositadas en TrichoBLAST/GenBank, se comprobó que todos los aislamientos tenían el 100 % de identidad con la especie *Trichoderma asperellum* Samuels. Se seleccionaron los aislamientos 3, 13, 17, 75, 78, 85 y 90 como promisorios agentes de control biológico, por su alto potencial antibiótico y eficacia técnica en condiciones de campo.

Palabras clave: *Trichoderma asperellum*, *Rhizoctonia solani*, espaciador interno del transcrito, factores de elongación transcripcional, efecto fungicida, efecto fungistático

Biotecnología Aplicada 2013;30:17-22

ABSTRACT

Molecular identification and pathogenic evaluation against *Rhizoctonia solani* Kühn of thirteen isolates of *Trichoderma* spp. The incidence of diseases caused by *Rhizoctonia solani* Kühn increases every year. Control of this disease is mainly done with the application of chemicals, more highly toxic. For this reason it is necessary to apply new control alternatives *Trichoderma* spp. is one of the biological control of this pathogen, for the friendly behavior and the different mechanisms of action, such as competition for the substrate, antibiosis and/or mycoparasitism. The present work had as objectives the molecular identification and the pathogenic evaluation, against *R. solani* isolates, of 13 isolates of the genus *Trichoderma*. For this, the antibiotic effect of *Trichoderma asperellum* on three *R. solani* anastomosis groups (AG-2.1, AG-5, AG-8) was evaluated by the method of cellophane. The characterization was carried out by sequencing the Internal Transcribed Spacer (ITS) of the rDNA region, as well as the EF1A translation elongation factor. Over 70 % of the strains tested showed fungistatic effect, whereas the rest showed fungicide effect. This was corroborated by the technical effectiveness under field conditions. After sequencing and comparison of data obtained with other sequences deposited in TrichoBLAST/GenBank, we found that all isolates showed 100 % identity with the *T. asperellum* Samuels species. Isolates 3, 13, 17, 75, 78, 85 and 90 were selected as promissory for their high antibiotic potential and technical efficacy in field conditions.

Keywords: *Trichoderma asperellum*, *Rhizoctonia solani*, internal transcribed spacer, transcriptional elongation factors, fungicide effect, fungistatic effect

Introducción

En la flora hay una continua interacción entre los agentes patógenos de las plantas y sus antagonistas. Las especies *Trichoderma harzianum* Rifai, *T. auroviride* Rifai y *T. asperellum* Samuels ejercen una acción biorreguladora importante [1], por su competencia por el sustrato, antibiosis y micoparasitismo, que atenúan algunas enfermedades. Desde los primeros estudios sobre esta temática, el género fúngico más estudiado

como agente de control biológico en plantas es *Trichoderma* (de la familia Hypocreaceae) [2-4]. Se distingue por la formación de una gran cantidad de biomasa en los suelos [5]; permite a las plantas un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo, por su estrecha asociación con las raíces [6]; y les induce resistencia sistémica frente a diversos organismos patógenos [7-10].

1. Hjeljord L, Tronsmo A. *Trichoderma* and *Gliocladium* in biological control: An overview. In: Harman GE, Kubicek CP, editors. *Trichoderma and Gliocladium*. Vol. 2. Enzymes, Biological Control and Commercial Applications. London: Taylor and Francis Ltd.; 1998. p. 131-51.

✉ Autor de correspondencia

Según Samuels [11] y el *Compendio sobre protección de cultivos* [12], los estados teleomorfos de algunas de las especies de *Trichoderma* son típicos del género *Hypocrea* (como *Ascomycetes* e *Hypocreales*). Rifai [13] fue el primero en acercarse a la diversidad y las relaciones de *Trichoderma* spp. a partir de los caracteres morfológicos (tipo de ramificación del conidióforo y forma del conidio). Bajo el concepto de especies agregadas describió nueve: *T. hamatum* (Bon.) Bain, *T. viride* Pers. ex S. F. Gray, *T. aureoviride*, *T. harzianum*, *T. koningii* Rifai, *T. pseudokoningii* Rifai, *T. longibrachiatum* Rifai, *T. polysporum* (Link ex Pers.) Rifai y *T. piluliferum* Webster & Rifai. Además señaló que *T. hamatum* podía tener dos o más especies morfológicamente distintas. Todas estas especies han estado en constante variación, por lo que sus cualidades no se han definido con exactitud, ni siquiera mediante técnicas moleculares [14]. Posteriormente Bissett et al. [15-17] establecieron que *Longibrachiatum* era una sección del género, en el que agruparon a *T. viride*, *T. koningii*, *T. pseudokoningii*, *T. longibrachiatum*, *T. citrinoviride* Bissett y *T. atroviride* Bissett.

Las investigaciones de Samuels et al. [18, 19] relativas al complejo *Hypocrea schweinitzii* Samuels y *Trichoderma* sect. *Longibrachiatum*, aportaron nuevos conocimientos a la taxonomía de especies del género no referidas hasta ese entonces. Samuels et al. [19] y Lieckfeldt et al. [20] estudiaron la especie de *T. viride*, inicialmente caracterizada solo por la presencia de rugosidades en los conidios, y determinaron que había dos tipos morfológicamente distintos (I y II), con diferente diseño de ADN mitocondrial cada uno. Estudios morfológicos, fisiológicos y moleculares posteriores establecieron que el tipo I era el verdadero *T. viride* (anamorfo de *Hypocrea*) y el tipo II era una nueva especie de *T. asperellum*, caracterizada molecularmente y cercana al neotipo *T. hamatum*.

Varios aislamientos de *T. asperellum* se emplean como bioplaguicidas de hongos patógenos en diversos cultivos de importancia económica, tanto en casas de cultivo como en campo. Su ataque micoparasítico es muy selectivo, sobre todo contra *Rhizoctonia solani* y *Sclerotium* spp., y la producción de enzimas quitinolíticas es elevada [1, 9, 18, 21]. El Laboratorio de Micología Vegetal del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (Censa, Cuba) posee un cepario con más de 80 aislamientos de *Trichoderma* spp. Se seleccionó un grupo autóctono de aislamientos promisorios, cuyas características morfoculturales y patogénicas eran diferentes entre sí y con respecto a las cepas A 34, A 53 y Ts-3 de *T. harzianum*, que actualmente se usan en la producción de bioplaguicidas. Este trabajo tuvo como objetivos la identificación molecular y la evaluación patogénica de 13 aislamientos del género *Trichoderma* frente a aislamientos de *R. solani*.

Materiales y métodos

Aislamientos de *Trichoderma* spp.

Se emplearon 14 muestras de *T. atroviride* (IMI206040) como cepa de referencia para los estudios moleculares, y los aislamientos T.1, T.3, T.12, T.13, T.17, T.25, T.28, T.56, T.75, T.78, T.79, T.85 y T.90, del Laboratorio de Micología Vegetal del Censa, Cuba.

Aislamientos de *Rhizoctonia*

Se probaron tres grupos anastomóticos de *R. solani* (AG-2.1, AG-5, AG-8), procedentes del Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (Langebio), Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México.

Condiciones para el desarrollo de los aislamientos

Los aislamientos de *Trichoderma* spp. y los de *R. solani* pertenecientes a los grupos anastomóticos, se sembraron en un medio agar papa dextrosa (APD, Difco), en placas de Petri de 9 cm de diámetro, y se incubaron en oscuridad a 28 ± 2 °C y 25 ± 2 °C, respectivamente. Cuando los hongos habían cubierto casi toda la placa, se tomaron discos de 6 mm de diámetro de la periferia de las colonias, para preparar los experimentos.

Efecto antibiótico *in vitro* de *Trichoderma* spp. frente a tres grupos anastomóticos de *R. solani*

Las muestras de *Trichoderma* spp., excepto *T. atroviride* (IMI206040), se sembraron en placas Petri de 9 cm de diámetro, contentivas de un medio PDA (Difco) con celofán [22]. Sobre este se colocaron discos individuales de micelio de *Trichoderma* spp. en el centro de la placa, y se incluyeron placas no inoculadas cubiertas con celofán como muestras testigos. Luego, las placas se incubaron a temperatura de 28 ± 2 °C en oscuridad, durante 36 h, hasta que el cultivo alcanzó las 3/4 partes del diámetro de la placa. Posteriormente se retiró el celofán de las placas, se sembraron discos de micelio de los diferentes aislamientos de los grupos anastomóticos de *R. solani* por separado en cada placa, y se incubaron en las condiciones descritas para el agente patógeno. Se hicieron tres réplicas por cada aislamiento, con un diseño aleatorio. El crecimiento radial del hongo se midió a las 24, 48 y 72 h de la inoculación. La variable estudiada fue la inhibición del crecimiento radial (ICR) del micelio del fitopatógeno:

$$\text{ICR (\%)} = \frac{(R1 - R2) \times 100}{R1}$$

donde:

R1: crecimiento radial de *R. solani* testigo (*R. solani* en el medio de cultivo sin *Trichoderma* sp.; mm);

R2: crecimiento radial de *R. solani* durante el tratamiento (mm).

Método de extracción de ADN

En el centro de las placas Petri con PDA (Difco) cubiertas con celofán, se sembró individualmente un disco de cada aislamiento de *Trichoderma* spp. Estas se incubaron durante 3 días a 28 ± 2 °C. Pasado este tiempo, se coleccionó el micelio con una espátula, en papel de aluminio, y se congeló a -20 °C. El ADN genómico se extrajo por el método urea-fenol-cloroformo (estandarizado en Langebio, México). A 100 ng del micelio se adicionaron 600 µL de solución tampón de extracción (urea 42.04 %, NaCl 0.3 M, EDTA 0.02 M, Tris-HCl 0.05 M; pH 8). La mezcla se homogeneizó e incubó a temperatura ambiente durante 30 min.

2. Kullnig C, Mach RL, Lorito M, Kubicek CP. Enzyme diffusion from *Trichoderma atroviride* (= *T. harzianum* P1) to *Rhizoctonia solani* is a prerequisite for triggering of *Trichoderma ech42* gene expression before mycoparasitic contact. *Appl Environ Microbiol.* 2000;66(5):2232-4.

3. Tondje PR, Roberts DP, Bon MC, Widmer T, Samuels GJ, Ismael A, et al. Isolation and identification of mycoparasitic isolates of *Trichoderma asperellum* with potential for suppression of black pod disease of cacao in Cameroon. *Biol Control.* 2007; 43(2):202-12.

4. Woo SL, Scala F, Ruocco M, Lorito M. The Molecular Biology of the Interactions Between *Trichoderma* spp., Phytopathogenic Fungi, and Plants. *Phytopathology.* 2006;96(2):181-5.

5. Nelson EE. Occurrence of *Trichoderma* in a Douglas-fir soil. *Mycologia.* 1982; 74(2):280-4.

6. Hoyos-Carvajal L, Orduz S, Bissett J. Genetic and metabolic biodiversity of *Trichoderma* from Colombia and adjacent neotropical regions. *Fungal Genet Biol.* 2009;46(9):615-31.

7. Cervantes MA. Microorganismos del suelo beneficiosos para los cultivos [Internet]. Madrid: Infoagro Systems, S.L.; 2012 [cited 2012 Mar 11]. Available from: http://infoagro.com/hortalizas/microorganismos_beneficiosos_cultivos.htm

8. Harman GE. Myths and Dogmas of Biocontrol Changes in Perceptions Derived from Research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant Dis.* 2000;84(4):377-93.

9. Druzhinina I, Kubicek CP. Species concepts and biodiversity in *Trichoderma* and *Hypocrea*: from aggregate species to species clusters? *J Zhejiang Univ Sci B.* 2005;6(2):100-12.

10. Klein D, Eveleigh DE. Ecology of *Trichoderma*. In: Kubicek CP, Harman GE, editors. *Trichoderma and Gliocladium*. Vol. 1. Basic Biology, Taxonomy and Genetics. London: Taylor and Francis Ltd. 1998; p. 57-74.

11. Samuels GJ. *Trichoderma*: systematics, the sexual state, and ecology. *Phytopathology.* 2006;96(2):195-206.

12. Crop Protection Compendium (CPC) [Internet]. Wallingford: Centre for Agricultural Bioscience International (CABI); 2012 - [cited 2012 Mar 11]. Available from: <http://www.cabi.org/cpc/>

13. Rifai MA. A revision of the genus *Trichoderma*. *Mycologia.* 1969;(116):1-56.

14. Kuhls K, Lieckfeldt E, Samuels GJ, Meyer W, Kubicek CP, Börner T. Revision of *Trichoderma* section *Longibrachiatum* including related teleomorphs based on analysis of ribosomal DNA internal transcribed spacer sequences. *Mycologia.* 1997; 89(3):442-60.

15. Bissett J. A revision of the genus *Trichoderma*. I. Section *Longibrachiatum* sect. nov. *Can J Bot.* 1984;62(5):924-31.

16. Bissett J. A revision of the genus *Trichoderma*. II. Infrageneric classification. *Can J Bot.* 1991;69(11):2357-72.

17. Bissett J. A revision of the genus *Trichoderma* III. Section *Pachybasium*. *Can J Bot.* 1991;69(11):2373-417.

Luego se adicionaron 300 μ L de fenol y cloroformo (25:25 v/v) y se agitó durante 10 min en vórtex. La mezcla se centrifugó durante 15 min a 10 000 rpm en una microcentrífuga. Se colectó el sobrenadante y se le adicionaron las mismas cantidades de fenol y cloroformo. Se agitó durante 10 min y centrifugó en iguales condiciones. Al sobrenadante se le agregaron 200 μ L de isopropanol e incubó toda la noche a -20°C . El ADN precipitado se centrifugó durante 5 min a 10 000 rpm, luego se lavó con 200 μ L de EtOH al 70 %, y resuspendió en agua destilada estéril (40-60 μ L). Para verificar la calidad del ADN, se realizó la electroforesis en gel de agarosa al 1.5 % en solución tampón de corrida TAE $1\times$, durante 45 minutos a 100 V.

Amplificación por reacción en cadena de la polimerasa del espaciador interno del transcrito de ADN_r y del factor de elongación

Para la amplificación de las regiones del espaciador interno del transcrito (ITS1 e ITS2) y la subunidad 5.8 S del ADN_r, se utilizó una mezcla de reacción cuyo volumen final de 50 μ L contenía la solución tampón para la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) sin MgCl_2 a una concentración $1\times$ (MgCl_2 1.5 mM) según recomendaciones del fabricante (Invitrogen, EE.UU); dNTP 0.4 mM; Taq ADN polimerasa recombinante 2.5 U; 100 ng de ADN genómico total y 0.2 μ M de cada cebador, respectivamente. En la amplificación se usaron dos combinaciones de cebadores para la región diana: ITS1 (5' TCC GTA GGT GAA CCT GCG G 3') e ITS2 (5' GCT GCG TTC TTC ATC GAT GC 3'); ITS3 (5' GCA TCG ATG AAG AAC GCA GC 3') e ITS4 (5' TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC 3') [23].

Se amplificó un fragmento de 0.4 kb del factor de elongación transcripcional (Tef) del gen *eEF1a1*, que contenía tres intrones, a partir de una mezcla de reacción idéntica a la anterior, pero con un volumen final de 25 μ L, y el empleo de los cebadores *tef 1a fw* (5' CTA CGA GAA GTT CGA GAA GG 3') y *tef 1a rev* (5' TAC TTG AAG GAA CCC TTA CC 3') [23], a una concentración de 0.2 μ M de cada uno de ellos.

Las amplificaciones se efectuaron en un termociclador (API Thermal cycler; Applied Biosystems, EE.UU.) con el siguiente programa: un ciclo de desnaturalización inicial a 94°C durante 3 min; seguido de 30 ciclos a 94°C durante 40 s, 50°C de temperatura de alineamiento durante 40 s y a 72°C durante 90 s; con un ciclo de extensión final a 72°C durante 7 min, a todas las combinaciones de las regiones ITS. Para el factor Tef se empleó el mismo programa, con una temperatura de alineamiento de 56°C durante 40 s. Se analizaron alícuotas de 5 μ L de cada producto de PCR, por electroforesis en geles de agarosa al 1 %, con una solución tampón de corrida TAE $1\times$ (Tris base 4.84 g, ácido acético 1.142 g, $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.74 g) a 100 V durante 15-20 min. Los geles se visualizaron en un fotodocumentador, y la talla de las bandas se comparó con un marcador estándar 100 pb ADN Ladder (Invitrogen, EE.UU.).

Secuenciación del ADN

Se purificaron 25 μ L de cada producto de PCR para cada aislamiento con una columna *spin* para cada caso. Posteriormente, se secuenciaron en el Langebio (Cinvestav, México). Para identificar los aislamientos, se

compararon las secuencias con las de TrichoBLAST/GenBank [24].

Eficacia técnica de aislamientos de *T. asperellum* sobre *R. solani*, inoculadas en condiciones de campo

Los aislamientos puros de *T. asperellum* (excepto el aislamiento T.56) y *R. solani* se sembraron en un medio agar-malta y PDA, respectivamente (Centro de Nacional de Biopreparados, Biocen, Cuba). Luego se incubaron en oscuridad y a $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, respectivamente, hasta que los hongos ocuparon toda la placa. El experimento se efectuó en un suelo ferralítico rojo con pH 5.4, en barbecho por más de dos años, desprovisto de arvenses. Se marcaron parcelas de 1 m^2 , con una distancia de 50 cm entre sí. En cada una se señalaron 4 puntos, en los que se inocularon 50 mL de una suspensión con una concentración de 10^4 esclerocios/mL del microorganismo patógeno. Pasados 21 días, cada uno de los aislamientos de *Trichoderma* spp. se inoculó con 50 mL de una suspensión a una concentración de 10^7 conidios/mL, en los diferentes puntos antes inoculados con el agente patógeno. Las parcelas se mantuvieron humedecidas. A los 15 días, se tomó una muestra de suelo de 1 kg de cada uno de los puntos inoculados, que se procesó de forma independiente. Después de homogeneizar y tamizar la muestra, se tomó 1 g de suelo a partir del cual se hicieron las diluciones seriadas, hasta 10^{-3} . De cada suspensión se tomaron 10 μ L y se distribuyeron uniformemente en placas contentivas de PDA (Biocen, Cuba), que se incubaron a $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ en la oscuridad. Se hicieron cinco réplicas por tratamiento, incluyendo el tratamiento testigo (inoculación solamente de los agentes patógenos de igual forma que para el resto de los tratamientos). A las 72 h se cuantificaron las colonias de *R. solani* por placas y las colonias por gramo de suelo, y se evaluó la eficacia de los aislamientos de *Trichoderma* spp. según la fórmula de Abbott [25].

Resultados y discusión

Efecto antibiótico *in vitro* de trece aislamientos de *Trichoderma* spp. frente a tres grupos anastomóticos de *R. solani*

Los metabolitos de 11 de los aislamientos de *Trichoderma* spp. mostraron una inhibición del 60 al 80 % del crecimiento en el aislamiento del grupo anastomótico AG-2.1 mientras que otros dos (T.75 y T.90) ejercieron un efecto fungicida (Figura 1). Los metabolitos de todos los aislamientos inhibieron el crecimiento entre

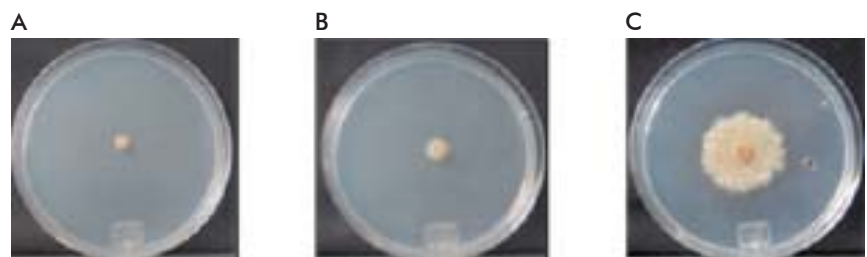


Figura 1. Efecto de metabolitos de aislamientos de *Trichoderma* spp. frente a *R. solani* grupo anastomótico AG-2.1. A) Muestra testigo de AG 2.1. B) Efecto fungicida del aislamiento T.75. C) Efecto fungistático del aislamiento T.78.

18. Samuels GJ. *Trichoderma*: a review of biology and systematics of the genus. *Mycol Res.* 1996;100(8):923-35.

19. Samuels GJ, Lieckfeldt E, Nirenberg HI. *Trichoderma asperellum*, a new species with warted conidia, and redescription of *Trichoderma viride*. *Sydowia.* 1999;51(1): 71-88.

20. Lieckfeldt E, Samuels GJ, Nirenberg HI, Petrini O. A morphological and molecular perspective of *Trichoderma viride*: is it one or two species? *Appl Environ Microbiol.* 1999;65(6):2418-28.

21. Hoyos-Carvajal L, Paola Chaparro, Miriam Abramsky, Chet I, Sergio O. Evaluation of *Trichoderma* spp. isolates against *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii* under *in vitro* and greenhouse conditions. *Agron Colomb.* 2008;26(3):451-8.

22. Dennis C, Webster J. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*: II. Production of volatile antibiotics. *Trans Br Mycol Soc.* 1971;57(1):41-8.

23. White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis MA, Gelfand DH, Sninsky J, White TJ, editors. *PCR Protocols: A guide to Methods and Applications.* San Diego: Academic Press; 1990. p. 315-22.

24. Kopchinskiy A, Komon M, Kubicek CP, Druzhinina IS. TrichoBLAST: a multilocus database for *Trichoderma* and *Hypocrea* identifications. *Mycol Res.* 2005;109(Pt 6): 658-60.

25. Abbott WS. A method of computing the effectiveness of an insecticide. 1925. *J Am Mosq Control Assoc.* 1987;3(2):302-3.

50 y hasta más del 90 %, en el aislamiento del grupo anastomótico AG-5 de *R. solani*, uno de los agentes patógenos más agresivos en el cultivo de arroz; pero no se observó efecto fungicida contra él. Sobre el aislamiento del grupo anastomótico AG-8, los metabolitos de los aislamientos T.3, T.12, T.17, T.28, T.56, T.75 T.78 y T.79 ejercieron un efecto fungicida, mientras que los del resto de los aislamientos inhibieron entre el 70 y el 80 % del crecimiento radial del agente patógeno. Este efecto podría deberse a que muchas cepas de *Trichoderma* spp. excretan metabolitos secundarios volátiles y no volátiles que pueden inhibir el desarrollo de otros microorganismos con efecto fungistático (considerados 'antibióticos'), aunque no haya contacto entre ellos [1].

Küçük y Kivanç [26] obtuvieron resultados similares con el método de celofán; la inhibición del crecimiento de *Gibberella zeae* (Schwein) Petch fue de más del 60 %. Con los metabolitos de los aislamientos Tm4 y Tm9, lograron la inhibición de más del 50 % de *Aspergillus ustus* (Bain.) Thom & Church, y con Tm7 y Tm10 obtuvieron igual resultado contra *T. harzianum*.

Con el uso del método de cultivo dual, Infante [27] y Martínez et al. [28] lograron inhibir más del 50 % del crecimiento radial de *R. solani* con dos aislamientos de *Trichoderma* spp.

Sin embargo, *Trichoderma* spp. puede excretar con ambos métodos (cultivo dual y celofán) metabolitos volátiles y no volátiles que inhiben el crecimiento radial de otros microorganismos, incluso sin que exista contacto entre ellos, por lo que la elección de un método u otro dependerá del objetivo del estudio. El método del cultivo dual es muy utilizado porque además de la antibiosis (evaluada por la escala de Bell et al. [29] o por la acción de metabolitos volátiles y no volátiles), ocurren eventos significativos como la competencia por el sustrato y el micoparasitismo, que se pueden evaluar. Sin embargo, por el método del celofán, solamente se evalúa la antibiosis, por la acción de los metabolitos no volátiles excretados al medio de cultivo.

Amplificación del espaciador interno del transcrito del ADNr y del factor de elongación

El producto de PCR empleando como diana el ITS con la combinación de cebadores ITS1 reveló una banda de 250 pb, mientras que con la combinación de cebadores ITS2 se obtuvo un amplicón de 350 pb. Estos coinciden con las tallas de las bandas obtenidas para la cepa de referencia *T. atroviride* (IMI206040) (Figuras 2 y 3).

Desde los años 90, numerosos investigadores emplearon de forma intensiva las regiones del ITS1 y el ITS2 para la identificación del género y la especie de *Trichoderma* [14, 19, 30-32], pues este grupo de genes está en más de 90 copias por genoma, y se puede amplificar fácilmente.

No obstante, O'Donnell et al. [33, 34], Buckler et al. [35], y Lieckfeldt y Seifert [36] plantearon que el uso de este marcador se había desacreditado por la presencia de copias parálogas de los ITS de otros géneros de hongos relacionados con las plantas; a pesar de que ello no se ha evidenciado en la mayoría de las especies de *Trichoderma/Hypocrea* [37]. También se ha seña-

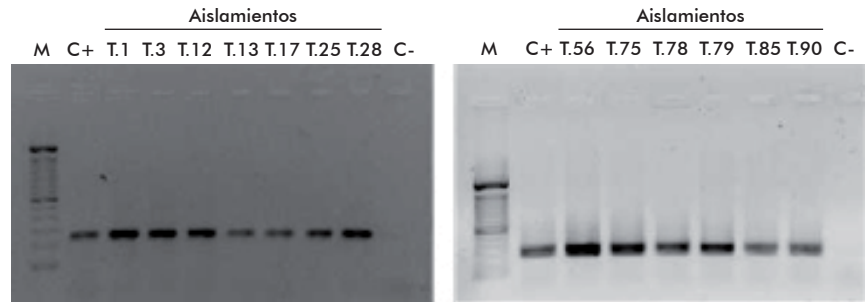


Figura 2. Amplificación del espaciador interno del transcrito (ITS) del ADN ribosomal, con la combinación de los cebadores ITS1 e ITS2 (talla aproximada de la banda: 250 pb) [23]. M: marcador de talla molecular 100 pb (Promega, EE.UU.). C+: cepa de referencia *Trichoderma atroviride* (IMI206040). C-: control negativo sin ADN.

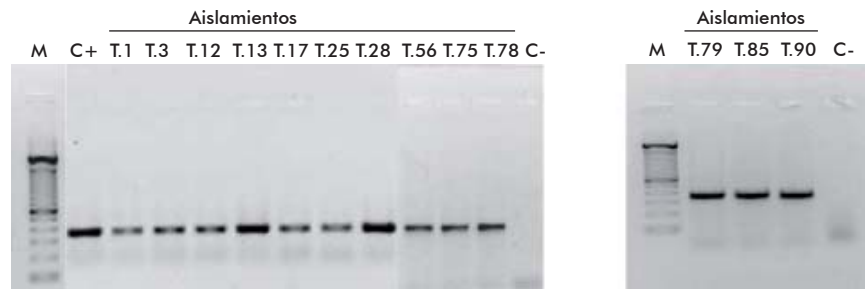


Figura 3. Amplificación del espaciador interno del transcrito (ITS) del ADN ribosomal, con la combinación de los cebadores ITS3 e ITS4 (talla aproximada de la banda: 350 pb) [23]. M: marcador de talla molecular 100 pb (Promega, EE.UU.). C+: cepa de referencia *Trichoderma atroviride* (IMI206040). C-: control negativo sin ADN.

lado como inconveniente que los ITS proporcionan una pobre resolución filogenética en algunos grupos genéticos, particularmente de la sección *Pachybasium* B.

Teniendo en cuenta las dudas de los investigadores antes mencionados con respecto a los resultados con los ITS para la identificación de las especies de este género, se amplificó el factor de elongación de la traducción de EF1A (Figura 4), y se obtuvo una banda de 400 pb, similar a la de la cepa de referencia. No obstante, el estudio de otros marcadores como β -tubulina, ACT1 y el factor de elongación de la traducción EF1A, no ofrece una óptima resolución filogenética de todo el género o de los subtipos genéticos mayoritarios como *Pachybasium* B; a pesar de que el estudio del mayor intrón de *tef1* proporcionó una excelente

26. Küçük Ç, Kivanç M. Mycoparasitism in the biological control of *Gibberella zeae* and *Aspergillus ustus* by *Trichoderma harzianum*. J Agric Technol. 2008;4(2): 49-55.

27. Infante MD. Efecto antagónico de ocho aislamientos de *Trichoderma* frente a *Rhizoctonia* sp. in vitro [dissertation]. Tesis de diploma. La Habana: Universidad Agraria de La Habana; 2006.

28. Martínez B, Reyes Y, Infante D, González E, Baños H, Cruz A. Selección de aislamientos de *Trichoderma* spp. candidatos a biofungicidas para el control de *Rhizoctonia* sp. en arroz. Rev Protección Veg. 2008;23(2):118-25.

29. Bell DK, Wells DH, Markham CR. In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. Phytopathology. 1982;72(4):379-82.

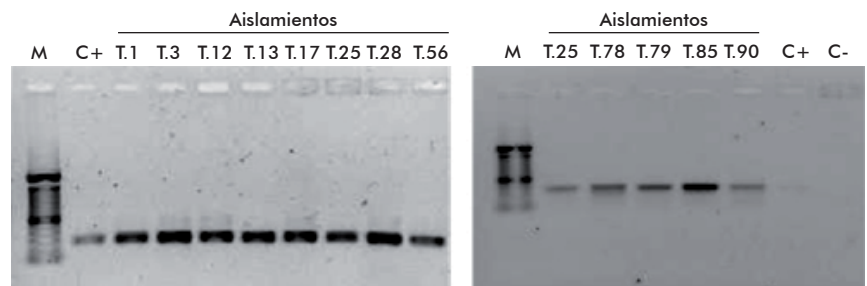


Figura 4. Amplificación del factor de elongación con los cebadores *tef1a fw* y *tef1a rev* [23] (talla aproximada de la banda: 400 pb). M: marcador de talla molecular 100 pb. C+: cepa de referencia *Trichoderma atroviride* (IMI206040). C-: control negativo sin ADN.

resolución al subtipo y las taxas muy relacionadas, como *T. harzianum* / *H.* subtipo *lixii* especies (*Hypocrea. lixii*, *T. harzianum*, *T. aggressivum*, *T. tomentosum* Bissett, *T. cerinum*, *T. velutinum*, *Hypocrea tawa*) o el grupo de *Hypocrea rufa* (Pers.) P. donde se incluyen *T. viride*, *T. atroviride* y *T. koningii*. Kindermann et al. [30] reafirmaron estos resultados al plantear que el uso de un fragmento de gen era insuficiente.

Un año más tarde, Taylor et al. [38] propusieron basar el concepto de especies filogenéticas en la concordancia entre cinco o más árboles genéticos, lo que resulta difícil en *Trichoderma* por la gran variabilidad de sus especies. Recientemente, para mayor confiabilidad de los estudios que combinan los ITS con los marcadores antes mencionados, se incluyeron genes de endoquitinasas [21, 39-42].

A pesar de que hubo resultados similares tras la amplificación de la región ITS y la amplificación del factor de elongación entre las cepas investigadas y la de referencia *T. atroviride* (IMI206040), se propuso la secuenciación de las bandas y se compararon con las del *TrichoBLAST/GenBank*® [24]. Los resultados mostraron homología total de las cepas con la especie *T. asperellum*. La similitud entre el tamaño de las bandas de estas dos especies pudiera ser porque ambas se incluyen en el mismo grupo *H. rufa*, lo cual coincide con Druzhinna y Kubicek [9] y Kindermann et al. [30].

Evaluación de la eficacia de los aislamientos de *Trichoderma* spp.

En condiciones de campo, 10 de los aislamientos de *T. asperellum* presentaron una eficacia técnica sobre *R. solani* superior al 80 %. El aislamiento T.1 mostró el 40 % de eficacia técnica sobre el agente patógeno y el T.12 no ejerció ningún efecto (Figura 5). De ahí la importancia de la selección de los aislamientos promisorios como agentes de control biológico.

Diferentes autores han probado la eficacia de los aislamientos de *Trichoderma* spp. para el control biológico de organismos patógenos, en diferentes condiciones. En el control de *R. solani* en albahaca con diferentes aislamientos de *Trichoderma* spp., Veitia et al. [43] obtuvieron una eficacia entre el 60 y el 90 %, a los 45 días, en bandejas en condiciones controladas. En la evaluación de cinco aislamientos de *T. asperellum*, Hoyos et al. [21] obtuvieron una eficacia superior al 90 % con los aislamientos T.21 y T.71,

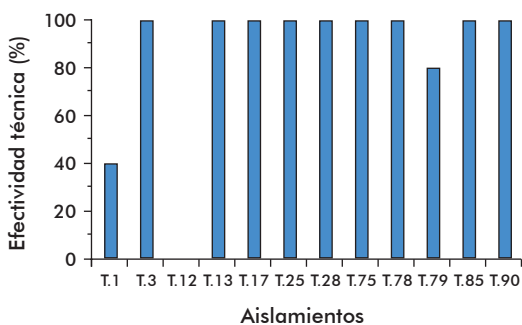


Figura 5. Efectividad técnica de aislamientos de *Trichoderma* spp. sobre *Rhizoctonia solani* en condiciones de parcelas en campo.

y más del 50 % con los aislamientos T.109 y T.110 frente a *Sclerotium rolfsii* Sacc. y *R. solani*, respectivamente, bajo condiciones semicontroladas. Los resultados de nuestro estudio coinciden con los de Martínez et al. [28], quienes obtuvieron más del 80 % de eficacia con los aislamientos de *Trichoderma* spp. T.17, T.27, T.56, T.75, T.78 frente a *R. solani*. Entre ellos sobresalieron el T.17 y el T.27 con más del 90 % de eficacia, en bandejas de acero inoxidable. También coinciden con los resultados de Reyes et al. [44], quienes con los aislamientos T.78 y T.56 de *T. asperellum*, obtuvieron más del 80 % de eficacia técnica para el control *R. solani*, en bandejas de acero inoxidable.

Como los aislamientos T.3, T.13, T.17, T.25, T.28, T.75, T.78, T.85 y T.90 resultaron promisorios, se hicieron más pruebas en condiciones de campo y en casas de cultivo protegido, en correspondencia con Martínez et al. [28] y Reyes et al. [44]. Ello es relevante, incluso, para la elección de la forma de producción masiva de estas cepas plaguicidas.

En Cuba se usan cepas de *Trichoderma* spp. fundamentalmente para el control de hongos que habitan en el suelo. Las cepas A-34 de *Rhizoctonia solani* y C-66 de *T. harzianum* han mostrado una efectividad superior al 99 % en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) [45]. En cebolla (*Allium cepa* L.) disminuyó la incidencia de *R. solani* con aplicaciones de *T. viride* [46]. No obstante, en Cuba son escasas las investigaciones acerca de los modos de acción de las cepas de este controlador biológico. Específicamente frente a aislamientos de *R. solani* procedentes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pimienta (*Capsicum annuum* L.) y clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) se obtuvo un antagonismo *in vitro* aceptable con *T. harzianum* [47]. También se corroboró la actividad micoparasítica de las cepas de *T. harzianum* A-34 y C-66, A-34 y A-53 sobre *R. solani* aislado de frijol [48] y de arroz (*Oryza sativa* L.) [49], respectivamente.

Conclusiones

Estos resultados permitieron la identificación específica de un grupo de aislamientos promisorios de *Trichoderma* spp., por secuenciación con el uso de marcadores moleculares de ITS, del factor de elongación, y su secuenciación. Además se logró la selección de tres aislamientos promisorios para el control de aislamientos de los grupos anastomóticos del complejo de *R. solani*; entre ellos, el aislamiento del grupo AG-5, altamente patogénico en arroz.

Los resultados de nuestro trabajo amplían los conocimientos sobre este género, demuestran cierta especificidad en el modo de acción de los aislamientos de *Trichoderma* spp. evaluados, y ofrecen perspectivas para su empleo y el de sus metabolitos. Además tienen implicaciones en los sistemas de producción de los biopreparados, porque su acción antagonista basada fundamentalmente en los metabolitos no volátiles, llevaría el análisis de su producción en fermentación líquida.

Tanto el biopreparado sólido como el líquido se pueden aplicar preventivamente en suelos infestados con *R. solani*, teniendo en cuenta que las estructuras fúngicas de *Trichoderma* spp. (conidios, clamidosporas y micelio) ejercen un efecto más duradero en el campo, pues parasitan los esclerocios (estructuras

30. Kindermann J, El-Ayouti Y, Samuels GJ, Kubicek CP. Phylogeny of the genus *Trichoderma* based on sequence analysis of the internal transcribed spacer region 1 of the rDNA cluster. *Fungal Genet Biol.* 1998;24(3):298-309.

31. Lieckfeldt E, Kullnig CM, Kubicek CP, Samuels GJ, Börner T. *Trichoderma aureoviride*: phylogenetic position and characterization. *Mycol Res.* 2001;105(3):313-22.

32. Dodd SL, Crowhurst RN, Rodrigo AG, Samuels GJ, Hill RA, Stewart A. Examination of *Trichoderma* phylogenies derived from ribosomal DNA sequence data. *Mycol Res.* 2000;104(1):23-34.

33. O'Donnell K. Ribosomal DNA internal transcribed spacers are highly divergent in the phytopathogenic ascomycete *Fusarium sambucinum* (*Gibberella pulicaris*). *Curr Genet.* 1992;22(3):213-20.

34. O'Donnell K, Cigelnik E, Nirenberg HI. Molecular systematics and phylogeography of the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Mycologia.* 1998;90(3):465-93.

35. Buckler IV ES, Ippolito A, Holtsford TP. The evolution of ribosomal DNA: divergent paralogues and phylogenetic implications. *Genetics.* 1997;145(3):821-32.

36. Lieckfeldt E, Seifert KA. An evaluation of the use of ITS sequences in the taxonomy of the Hypocreales. *Stud Mycol.* 2000;45:35-44.

37. Kullnig CM, Krupica T, Woo SL, Mach RL, Rey M, Benítez T, et al. Confusion Abounds Over Identities of *Trichoderma* Biocontrol Isolates. *Mycol Res.* 2001; 105(7):770-72.

38. Taylor J, Jacobson D, Fisher M. The evolution of asexual fungi: Reproduction, Speciation and Classification. *Annu Rev Phytopathol.* 1999;37:197-246.

39. Kullnig-Gradinger CM, Szakacs G, Kubicek CP. Phylogeny and evolution of the fungal genus *Trichoderma*: a multi-gene approach. *Mycol Res.* 2002;106(7): 757-67.

40. Kubicek CP, Bissett J, Druzhinina I, Kullnig-Gradinger C, Szakacs G. Genetic and metabolic diversity of *Trichoderma*: a case study on South-East Asian isolates. *Fungal Genet Biol.* 2003;38(3):310-9.

41. Chaverri P, Samuels GJ. *Hypocrea/Trichoderma* (*Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae*): species with green ascospores. *Stud Mycol.* 2004;48:1-36.

42. Druzhinina IS, Kopchinskiy AG, Komon M, Bissett J, Szakacs G, Kubicek CP. An oligonucleotide barcode for species identification in *Trichoderma* and *Hypocrea*. *Fungal Genet Biol.* 2005;42(10):813-28.

43. Veitia MM, García V, Izquierdo D, Porras A, Wong W. Control de *Rhizoctonia* sp. en albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) con *Trichoderma harzianum* cepa 34. *Fitosanidad.* 2000;4(1-2):67-70.

44. Reyes Y, Martínez B, Infante D. Evaluación de la actividad antagonista de trece aislamientos de *Trichoderma* spp. sobre *Rhizoctonia* sp. *Rev Protección Veg.* 2008;23(2):112-7.

45. González M. Utilización de *Trichoderma* spp. para el control de hongos patógenos de la semilla y del suelo en el cultivo del frijol [dissertation]. Tesis en opción al título de Máster en Protección Vegetal. La Habana: Universidad Agraria de La Habana; 2001.

de conservación) de *Rhizoctonia*, que son la fuente primaria de infección. Tales hallazgos son cardinales para el perfeccionamiento de la selección, aplicación y reproducción de las cepas de *Trichoderma* spp. para el control biológico.

Agradecimientos

Esta investigación se logró gracias al apoyo de una beca de la Secretaría de Educación Pública (SEP)

otorgada por México. Agradecemos al Dr. Alfredo Herrera Estrella, por permitirnos una estancia en el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (Langebio) a su cargo, en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Igualmente, a las técnicas María Isabel Blanco Campos y Noreidys Fernández Gálvez, por su cooperación en la investigación.

46. Meléndrez J, Santana M, Herrera L. Estudio de la incidencia de *Rhizoctonia solani* Kühn en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) en la zona de Banao. Centro Agrícola. 2002;29(2):51-4.

47. Sandoval I, López MO, Bonilla T, Tomas Y. Hongos del suelo que atacan al clavel y

antagonismo *in vitro* con *Trichoderma* spp. Fitosanidad. 1998;2(3-4):41-4.

48. González M, Castellanos L, Ramos M, Pérez G. Efectividad de *Trichoderma* spp. para el control de hongos patógenos de la semilla y el suelo en el cultivo del frijol. Fitosanidad. 2005;9(1):37-41.

49. Alarcón I, Reyes T, Rodríguez G, Pupo AD. Efectividad *in vitro* de *Trichoderma harzianum* (Rifai) en el biocontrol de *Rhizoctonia solani* Kühn y *Pyricularia grisea* (Sacc.) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). Fitosanidad. 2005; 9(3):57-60.

Recibido en marzo de 2012.

Aprobado en julio de 2012.