

Artículo original


Aplicación de dos cepas de *Trichoderma asperellum* S. como estimulante de crecimiento en el cultivo del arroz

Michel Ruiz-Sánchez^{1*} 

Anayza Echeverría-Hernández¹ 

Yaumara Muñoz-Hernández² 

Alexeis Y. Martínez-Robaina³ 

Ariel Cruz-Triana¹ 

¹Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios", Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Carretera La Francia km 1½, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. CP 22 900

²Universidad "Hermanos Saiz Montes de Oca". Centro Universitario Municipal Los Palacios

³Universidad "Hermanos Saiz Montes de Oca". Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias. Departamento de Ciencias agropecuarias

* Autor de correspondencia: mich762016@gmail.com

RESUMEN

La investigación se realizó en los periodos poco lluviosos de los años 2016 y 2017 en la Unidad Científico-Tecnológica de Base "Los Palacios", con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de dos cepas de *T. asperellum* sobre la fisiología y rendimiento agrícola en el cultivar de arroz INCA LP-5. La inoculación se realizó previo a la siembra mediante la imbibición de las semillas en un biopreparado de *T. asperellum* (cepas *Ta.13* y *Ta.78*), a una dosis de 5×10^6 conidios x g de semilla⁻¹ y secado a la sombra durante 24 h. Se siguió un Diseño Experimental en Bloques al Azar, con cuatro repeticiones y se utilizó un control con semilla no tratada. Se evaluó a los 120 días después de la emergencia, la altura de las plantas; el porcentaje de *Trichoderma* spp., colonizado en el suelo; la masa seca aérea; el largo de la raíz y la masa seca raíz, además del rendimiento agrícola y sus componentes. Se obtuvo que la aplicación de las cepas de *T. asperellum* (*Ta.13* y *Ta.78*), provocaron una tendencia al incremento en la presencia de *Trichoderma* spp. en el suelo Gleysol Nodular ferruginoso petroférico en condiciones de cultivo del arroz con riego. Se estimuló el crecimiento y desarrollos de las plantas de arroz, así como el rendimiento agrícola entre un 20 % y un 30 %, respecto al tratamiento sin *Trichoderma*. La cepa *Ta.78* fue la que promovió los mejores resultados.

Palabras clave: rendimiento agrícola, agroecología, alternativa

Recibido: 29/06/2020

Aceptado: 18/03/2021

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de los cultivos suele ser el atributo en el que se centran principalmente los programas de mejoramiento y las decisiones para la selección varietal. Es el resultado final del crecimiento y de los procesos de desarrollo, que están regulados por factores genéticos, condiciones ambientales y las interacciones genotipo-ambiente a lo largo de un periodo de crecimiento de una planta ⁽¹⁾.

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el cereal de mayor consumo, después del trigo, a escala mundial, con un per cápita de 53,9 kg ⁽²⁾ y se espera que el consumo de arroz y trigo aumente en 1,7 y 1,0 %, respectivamente ⁽³⁾. En Cuba los cultivares comerciales actuales han demostrado tener un potencial de rendimiento que supera las 7 t.ha⁻¹; sin embargo, a pesar de que en el país existen condiciones de clima y de suelo favorables para el crecimiento y desarrollo de este cereal, en los últimos cinco años el rendimiento no supera las 3,43 t ha⁻¹ como promedio ⁽⁴⁾. Lograr altos rendimientos para satisfacer la demanda de alimentos en el caso del arroz es prioridad nacional. Desde la década de los 90 se manifiesta un retroceso en la producción cubana de arroz, obligando al país a realizar importaciones anuales superiores a los 100 millones de dólares ⁽⁵⁾.

El no cumplimiento de las normativas tecnológicas para este cultivo, así como la baja disponibilidad de insumos (fertilizantes y plaguicidas) están entre las causas que han incidido negativamente en la disminución de rendimientos en este cultivo. Ante esta problemática, una alternativa pudiera ser el uso de *Trichoderma* spp., pues presenta mecanismos de acción directos e indirectos como agente de control biológico y estimulador del crecimiento de las plantas. Estos microorganismos tienen la capacidad de solubilizar elementos nutritivos, que en su forma original, no son accesibles para las plantas y crear un ambiente favorable al desarrollo radical, lo que aumenta la tolerancia de la planta a estreses bióticos y abióticos ^(6,7), por lo que se puede considerar un bioestimulante ⁽⁸⁾.

En sentido general, *Trichoderma* se utiliza como control biológico contra enfermedades del suelo. El Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA) cuenta con cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt y Nirenberg, identificadas y caracterizadas, fisiológica y molecularmente, que han manifestado un buen control sobre agentes del suelo causantes de enfermedades en arroz, frijol y otros ^(9,10).

En la literatura científica es escasa la información sobre estudios que proporcionen un panorama claro de cómo *Trichoderma* favorece el crecimiento y el desarrollo en plantas de arroz, cultivadas bajo sistema de riego por inundación. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de dos cepas de *T. asperellum* en la fisiología y el rendimiento agrícola en el cultivar de arroz INCA LP-5.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Unidad Científico Tecnológica de Base “Los Palacios” (UCTB “Los Palacios”), Cuba, a 22°34’32.73” N y 83°14’11.95” O, perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), con plantas de arroz cv. INCA LP-5, las que se inocularon

previo a la siembra con *T. asperellum* (cepas *Ta.13* y *Ta.78*). El experimento se realizó en condiciones de campo, siempre en la misma área en los periodos poco lluviosos de los años 2016 y 2017, en un suelo que se clasificó como Gleysol Nodular Ferruginoso petroférico ⁽¹¹⁾ y se caracterizó por un pH ligeramente ácido (6,46); contenido de materia orgánica (MO) bajo (2,86); bases intercambiables con contenidos típicos para este tipo de suelo y considerados bajos; fósforo asimilable (P) bajo (46,80 mg kg⁻¹) ⁽¹²⁾. El comportamiento de las variables meteorológicas durante el periodo experimental se registró en la Estación Meteorológica # 317 de Paso Real de San Diego en el municipio “Los Palacios” de la provincia Pinar del Río, Cuba, la cual está a una distancia promedio de 4 km.

El área experimental (0,6 ha) se preparó iniciando con la roturación del suelo hasta una profundidad de 0,20 m por la tecnología de preparación de suelo en seco, con siembra en seco a chorrillo, a una dosis de 120 kg ha⁻¹ de semilla ⁽⁵⁾. Previo a la siembra las semillas de arroz se lavaron con agua corriente tres veces seguidas y todas las que flotaron conjuntamente con las materias extrañas en el momento del lavado se desecharon. Seguidamente se secaron las semillas a la sombra durante 24 horas; a continuación, se aplicó el biopreparado a una dosis de 5 x 10⁶ conidios x g de semilla⁻¹ a base de cepas de *Trichoderma* (*Ta.13* y *Ta.78*) en 1 L de agua por separado, con 5 mL de adherente 810 SL, para lograr una mayor adhesión del producto a la semilla; que se cubrieron con el biopreparado por un periodo de 24 horas.

Al mismo tiempo se preparó el tratamiento estándar sin aplicación de *Trichoderma* (testigo), para conformar los tratamientos experimentales. Pasada las 24 horas de la aplicación se realizó la siembra en parcelas de 9 m², siguiendo un Diseño Experimental en Bloques al Azar, con cuatro repeticiones y se utilizó un control con semilla no tratada.

Tratamientos

Semillas sin *Trichoderma* (ST)

Semillas con *Trichoderma* (*Ta.13*)

Semillas con *Trichoderma* (*Ta.78*)

El riego, la aplicación de herbicidas y la fertilización se realizó según Normas Técnicas para el Cultivo del Arroz ⁽⁵⁾.

Muestreo y evaluaciones

En ambos años experimentales se procedió a la toma de muestras y evaluaciones, siguiendo la misma metodología. A los 120 días después de la emergencia (DDE) en la fase de maduración, se evaluó la altura de las plantas (ALT), la cual se midió en 10 plantas por réplica, para un total de 40 por tratamiento, desde la superficie del suelo hasta el extremo superior de la hoja proyectada en la misma dirección del tallo ⁽¹³⁾ y se expresó en cm.

Se determinó la presencia de *Trichoderma* y para ello se tomaron cinco muestras de suelo (0-10 cm) por réplica, para un total de 20 por tratamiento, cercano a la zona radical de las plantas en cada repetición. Las muestras se agitaron en un beaker y se extrajeron cinco alícuotas de 100 μL de las suspensiones de suelo (dilución 10^{-3}) por muestra. Se sembraron en placas con medio PDA, suplementado con amoxicilina (500 mg L^{-1}), con la finalidad de evitar la contaminación del medio ⁽¹⁴⁾. Posteriormente, se extrajeron cuidadosamente tres plantas por réplica, para un total de 12 por tratamientos, con la ayuda de una pala, que permitió profundizar en el suelo y así extraer la mayor masa radical posible. Se separó la parte aérea de la raíz. Las raíces se lavaron con abundante agua para eliminar el suelo adherido y se secaron con papel absorbente, después se midió el largo de la raíz que se expresó en cm. Ambas secciones de la planta se mantuvieron en estufa con tiro forzado de aire a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta alcanzar masa constante, la que se midió en una balanza técnica (Denver Instrument PK-601), el resultado obtenido se expresó en g planta^{-1} .

La cosecha del experimento se realizó a los 142 DDE, en ese momento se evaluó la cantidad de panículas por metro cuadrado (P_{m^2}), para ello, se cortó 1 m^2 de arroz por réplica, para un total de 4 m^2 por tratamiento y se contabilizaron todos los tallos con espiga y sin espiga ($P_{\text{inf}_{\text{m}^2}}$) o el número de tallos infértiles por m^2 ⁽¹³⁾. Además, se cosecharon 20 panículas por réplica, para un total de 80 panículas por tratamiento.

Para determinar el rendimiento agrícola (t ha^{-1}), se siguió la metodología propuesta por el IRRI ⁽¹³⁾. Se tomó una muestra de 4 m^2 por réplica, para un total de 16 m^2 por tratamiento. Las muestras se secaron al sol hasta que el porcentaje de humedad estuvo al 14 %, seguidamente se aventaron las mismas para eliminar las impurezas y se pesaron en una balanza técnica electrónica de tres cifras (Balanza Electrónica Ferton) con una precisión de 0,046 g.

Análisis estadísticos

Después de comprobar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza (Test Bartlett's y Kolmogórov-Smirnov, respectivamente) en cada variable, se procesaron los datos mediante un Análisis de Varianza de Clasificación Simple y cuando existieron diferencias significativas, las medias se docimaron, según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p < 0,05$). Para realizar el análisis estadístico se utilizó el Programa STATGRAPHICS CENTURION versión 16.1 sobre Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En sentido general, las variables climáticas que incidieron durante la investigación favorecieron el crecimiento y el desarrollo del cultivo. Las temperaturas no fueron extremas en el tiempo, las mínimas, en la primera etapa de crecimiento del cultivo; o sea, en la fase vegetativa hasta los 70 DDE fueron de $18,4 \text{ }^\circ\text{C}$ en el año 2016 y en el 2017 de $19,2 \text{ }^\circ\text{C}$, como promedio. Sin embargo, las temperaturas se compensaron con máximas de $27,5 \text{ }^\circ\text{C}$ en el año 2016 y en el 2017 de $28,6 \text{ }^\circ\text{C}$, como

promedio. Estas variaciones térmicas condicionaron que el ciclo del cultivo se comportara para este cultivar (INCA LP-5) como de ciclo medio. Al respecto, se aseguró que los rangos de temperatura máxima y mínima superiores a 18 °C y menores de 30 °C son favorables para un desarrollo eficiente de la planta de arroz ⁽¹⁵⁾. Por otra parte, investigaciones realizadas demostraron que el alargamiento del ciclo para el cultivar INCA LP-5 muestran una tendencia a estar por debajo de los 20 °C, cuando se cultiva en el periodo poco lluvioso y las temperaturas mínimas ⁽¹⁶⁾.

En cuanto a las precipitaciones, en el año 2016, el máximo de lluvias ocurrió en la primera decena de junio, con valores de 254,8 mm y en el 2017 fue de tan solo 129,7 mm. Durante el periodo de investigación, la Humedad Relativa en el año 2016 fluctuó entre el 66 % y el 99 % y en el 2017, entre 66 % y 90 %, valores que no constituyeron limitante para el cultivo, debido a que los rangos de variación están dentro de los parámetros permisibles para el arroz ⁽¹⁷⁾.

Al analizar el resultado del muestreo de suelo en función de la presencia de *Trichoderma* spp. en el suelo (Tabla 1), se encontró una tendencia superior de las colonias en los tratamientos donde se aplicaron las cepas de *T. asperellum* (*Ta.13* y *Ta.78*). En ambos años de investigación, la mayor presencia se observó en el tratamiento *Ta.78*, incremento que representó un 10,11 % en el 2016, respecto al testigo. En el 2017 el incremento fue de un 14,67 % para el tratamiento *Ta.78* y un 8,45 % para *Ta.13* respecto al testigo.

Tabla 1. Resultado del muestreo de suelo y de las evaluaciones morfológicas en plantas de arroz sin inocular (ST) e inoculadas con dos cepas de *T. asperellum* (*Ta.13* y *Ta.78*), en un suelo Gleysol Nodular Ferruginoso Petroférrico

Tratamientos	PTS (%)		ALT (cm)		MSA (g.planta ⁻¹)		L_R (cm)		MSR (g planta ⁻¹)	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
ST	69,61 b	78,05 c	97,23 b	119,47 c	2,96 b	3,24 b	15,72 b	15,67 c	1,18 b	1,22 b
<i>Ta.13</i>	71,80 b	84,65 b	101,30 a	128,30 a	3,31 ab	3,73 ab	20,08 a	17,92 b	1,28 a	1,34 a
<i>Ta.78</i>	76,65 a	89,50 a	103,43 a	124,43 b	3,80 a	4,14 a	17,92 ab	21,33 a	1,33 a	1,38 a
ESx	0,788	0,518	0,865	0,780	0,193	0,176	1,091	1,012	0,023	0,015

Letras desiguales difieren significativamente según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para p<0,05

(PTS): presencia de *Trichoderma* spp. en el suelo; (ALT): altura de la planta; (MSA): masa seca aérea; (L_R): largo de la raíz; (MSR): masa seca raíz; (ST): en plantas de arroz sin inocular

La presencia de *Trichoderma* spp. en el suelo Gleysol sugiere la vida de estos microorganismos en estos suelos y evidenció la alta plasticidad ecológica de los mismos, pues este suelo se ha cultivado en monocultivo de arroz con dos producciones anuales cada año en la UCTB “Los Palacios” y presenta todas las características típicas para ese cultivo ⁽¹⁸⁾, en condiciones inundadas ⁽⁵⁾. Aun cuando estas condiciones son de anaerobiosis, especies de *Trichoderma* residentes (nativas) fueron capaces de colonizar el medio edáfico. Sin embargo, cabe resaltar que la inoculación mediante la imbibición de las semillas con las cepas de este hongo (*Ta.13* y *Ta.78*) incrementó la presencia del mismo y, a su vez, promovió el crecimiento y desarrollo en la planta.

El incremento de la presencia y colonización del suelo por *Trichoderma* spp. en los tratamientos con *T. asperellum* indicaron que el manejo en condiciones de campo no limitó la multiplicación y el desarrollo del hongo, a pesar de que la lámina de agua fluctuó entre los 10 y 15 cm de profundidad. La lámina de agua permaneció en el cultivo desde que las plantas tenían cinco hojas verdaderas hasta el 50 % de maduración del grano, como se recomienda en el Instructivo Técnico del Arroz ⁽⁵⁾. Aun cuando el periodo con lámina fue superior a los 90 días no afectó la presencia y la colonización del suelo por *Trichoderma* spp. La supervivencia de estos hongos bajo estas condiciones, es posible porque las esporas de *Trichoderma* poseen una pared celular gruesa ⁽⁹⁾, que la aísla del medio ambiente y permite que sobreviva a condiciones adversas, manteniéndola en dominancia hasta que las condiciones sean propicias para la germinación. Al respecto, se aseguró que la dormancia de la spora de *Trichoderma* es el mecanismo principal que le permite a esta especie adaptarse a condiciones adversas ⁽⁹⁾.

Por otra parte, la aplicación de diferentes cepas de *T. asperellum* (*Ta.13* y *Ta.78*), provocó diferencias en el crecimiento de la planta, respecto al testigo sin aplicación (ST), aun cuando se evidenció una tendencia en la presencia de estas cepas en el suelo. En relación al comportamiento de la altura de la planta (Tabla 2), se encontró que, en ambos años (2016 y 2017) siempre los tratamientos con *T. asperellum*, mostraron los valores mayores en altura respecto al testigo.

La acumulación de la masa seca aérea, largo de la raíz y masa seca de la raíz en ambos años de investigación, mostraron los mayores valores de estas variables (MSA, L_R y MSR) donde se aplicó *T. asperellum* (*Ta.13* y *Ta.78*), aunque para la MSA el tratamiento con la cepa *Ta.13* no mostró diferencia con el testigo (ST), igualmente sucedió para el caso del largo de la raíz en el segundo año de investigación.

El incremento que se apreció en las variables fisiológicas evaluadas (ALT, MSA y MSR) indicó el potencial de este microorganismo sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de arroz, aun cuando este mostró un comportamiento variable, dependiendo de la cepa de *Trichoderma* utilizada. En cuanto a la altura de las plantas ⁽¹⁰⁾, se demostró en plantas jóvenes de arroz tratadas con *T. asperellum* un incremento significativo en la altura. Resultados similares se informaron, pero con otras cepas de *Trichoderma* y diferentes alturas de lámina de agua ⁽¹⁴⁾.

Otras causas que pudieron conducir al incremento en el crecimiento en las plantas, fue una mayor absorción de los nutrientes, a partir de la simbiosis que se crea entre éste microorganismo y la planta de arroz y la estimulación que se encontró en el crecimiento radical. Al respecto, en otras investigaciones se evidenció que algunas especies de *Trichoderma* promueven el crecimiento y mejoran la absorción de nutrientes ⁽¹⁹⁾. De ahí que, la estimulación del crecimiento puede deberse a la inhibición de patógenos menores en la raíz de la planta, a la producción de vitaminas y a la conversión de nutrientes (zinc, magnesio y potasio) en el suelo, los cuales se encuentran en una forma no asimilable para las plantas ⁽⁶⁾. También se demostró que la aplicación de *Trichoderma* spp. en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) colonizaron sus raíces y requirieron menos fertilizante nitrogenado, que el maíz no tratado; lo cual implicó un ahorro del 35 al 40 % de fertilizante ⁽⁹⁾.

La estimulación del crecimiento evidenció, la posible interacción positiva entre la planta y *Trichoderma*, la cual está regulada, para asegurar los beneficios de ambos simbioses. La planta recibe protección y mayor cantidad de nutrientes disponibles y el hongo obtiene compuestos orgánicos y un nicho para el crecimiento. Al respecto, aseguró que es posible el estímulo del crecimiento a partir del proceso de identificación de los simbioses vía señalización microorganismo-planta y posterior a la simbiosis la producción de hormonas relacionadas con el crecimiento de la planta ⁽⁷⁾. En relación a la producción de hormonas se aseguró que especies de *Trichoderma* regulan vías metabólicas, como la producción de auxinas que promueven el crecimiento de las raíces ⁽¹⁹⁾. Otro autor informó que *Trichoderma* además de competir por los nutrientes y la dominancia de la rizosfera, tiene la capacidad de multiplicarse en el suelo y colonizar las raíces de las plantas y en el proceso de multiplicación se producen hormonas de crecimiento tales como; auxina, giberilina y citoquininas que estimulan la germinación de la semilla y desarrollo de las plantas ⁽²⁰⁾.

Recientes investigaciones han mostrado que, en las etapas iniciales de interacción, los metabolitos como auxinas y compuestos proteicos liberados por *Trichoderma* son percibidos por las raíces, alterando muchos mecanismos hormonales que controlan el crecimiento de plantas y el desarrollo bajo condiciones normales o de estrés ⁽¹⁹⁾. Como consecuencia, cuando el sistema radicular es colonizado, la asociación se fortalece, suministrando protección a la zona radicular contra microorganismos patógenos y también desarrollando el sistema radicular, lo que pudiera mejorar la absorción de agua y nutrientes. Además, se estimula el crecimiento vegetal y se induce resistencia contra los patógenos ^(7,21). Es por ello que este hongo es considerado promotor del crecimiento, a partir de la producción de metabolitos secundarios en la interacción ⁽¹⁹⁾.

En cuanto a los componentes del rendimiento en el cultivo del arroz, se encontró que el número de panículas por m² (P_m²), fue superior en ambos años experimentales en los tratamientos con *T. asperellum* (*Ta.13* y *Ta.78*) respecto al testigo (Tabla 2). Los mayores valores de P_m² se corresponden con el tratamiento *Ta.78*. Sin embargo, el número de panículas infértiles (P_{inf}_m²) manifestó un comportamiento inverso en ambos años experimentales, o sea el tratamiento testigo (ST) mostró el mayor número de tallos infértiles y no hubo diferencias entre los tratamientos donde se aplicó *T. asperellum* (*Ta.13* y *Ta.78*).

Tabla 2. Componentes del rendimiento agrícola en plantas de arroz sin inocular (ST) e inoculadas con dos cepas de *T. asperellum* (*Ta.13* y *Ta.78*). Evaluadas en las campañas poco lluviosas de 2016 y 2017

Tratamientos	P_m ²		P_inf_m ²		G_LL		G_V	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
ST	240,50 c	245,25 c	22,25 a	29,00 a	95,67 b	96,40 b	34,00 a	26,93 a
<i>Ta.13</i>	252,50 b	257,50 b	16,75 b	21,50 b	105,33 a	114,47 a	30,67 b	19,20 b
<i>Ta.78</i>	264,25 a	267,32 a	13,75 b	18,25 b	101,53 a	118,73 a	21,93 c	19,93 b
ESx	3,006	1,338	2,383	1,559	1,326	2,956	0,697	0,841

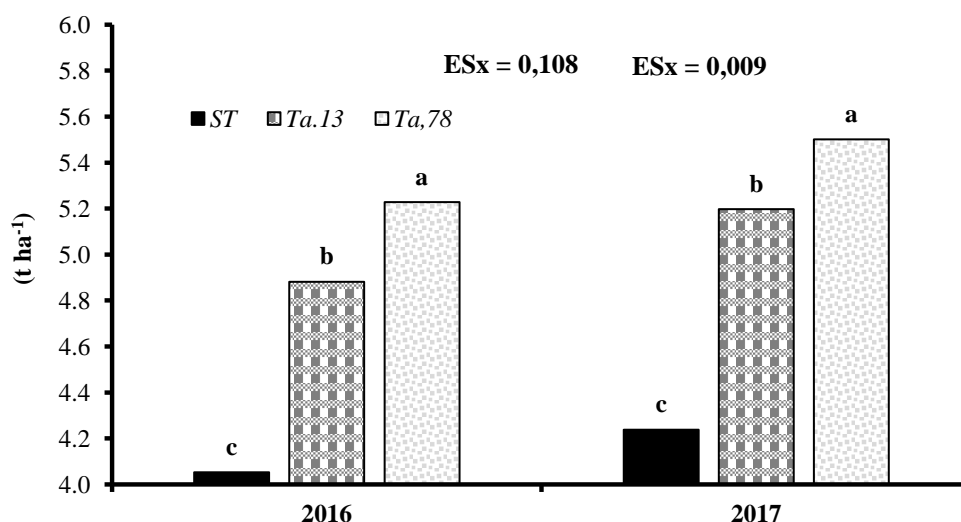
Letras desiguales difieren significativamente según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para $p < 0,05$

(P_m²): panículas por m²; (P_inf_m²): panículas infértiles por m²; (L_P): largo de la panícula; (G_LL): granos llenos por panícula y (G_V): granos vanos por panícula; (ST): en plantas de arroz sin inocular

En cuanto a los granos llenos por panícula (G_LL) los mayores valores se encontraron en los tratamientos donde se aplicaron ambas cepas de *Trichoderma* (*Ta.13* y *Ta.78*) sin diferencias entre ellos. Concerniente a los granos vanos por panícula (G_V) mostraron un comportamiento inverso a los G_LL, aunque en el primer año experimental los menores valores de G_V se correspondieron con el tratamiento donde se aplicó la cepa *Ta.78*.

En relación con los componentes del rendimiento agrícola, las variables que tributaron al incremento del mismo en los tratamientos inoculados con *T. asperellum* fueron P_m² y GLL; y de forma inversa P_inf_m² y G_V, los cuales están determinados por el comportamiento de las variables del crecimiento altura de las plantas, masa seca área de la planta, largo de la raíz y masa seca de la raíz, que mostraron incrementos por efecto de la aplicación de *Trichoderma*. Específicamente el incremento del número de panículas por planta en los tratamientos *Ta.13* y *Ta.78*, puede estar relacionado con el desarrollo del sistema radical, expresado en este caso como MSR, tal como han señalado otros investigadores en el cultivo del arroz ^(22,23), quienes aseguraron una alta correlación entre el crecimiento radicular y los componentes del rendimiento agrícola.

Con relación al rendimiento agrícola en ambos años (2016 y 2017), se encontró que siempre los tratamientos donde se trató la semilla con *Trichoderma* fueron superiores al tratamiento testigo (Figura 1) y los mayores valores se correspondieron con el tratamiento *Ta.78* en ambos años experimentales. En el año 2016 el incremento del rendimiento agrícola, respecto al testigo, en el tratamiento *Ta.13* fue de 20,45 %, en el *Ta.78* fue de 28,99 % y en el 2017 fue de 22,70 % para el tratamiento *Ta.13* y de 29,80 % para *Ta.78*.



Barras con letras desiguales difieren significativamente según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para $p < 0,05$

Figura 1. Rendimiento agrícola de plantas de arroz sin inocular (ST) e inoculadas con dos cepas de *T. asperellum* (Ta.13 y Ta.78), cultivadas en condiciones de campo en un suelo Gleysol Nodular Ferruginoso Petroférrico

El incremento del rendimiento agrícola no se define al final de ciclo ⁽¹⁾, se define desde el momento en que se preparan las condiciones de suelo, se le da tratamiento a la semilla, se realiza el manejo del agua de riego, se hace el control de las arvenses, la fertilización y el control fitosanitario. Lograr hacer con eficiencia todas estas actividades agrotécnicas al cultivo garantiza un mayor crecimiento y desarrollo de la planta de arroz. Los resultados alcanzados en esta investigación indicaron un manejo agronómico que permitió obtener un rendimiento superior a la media nacional ⁽⁴⁾ para el tratamiento testigo, el cual fue significativamente menor que los tratamientos donde se aplicó biopreparado de *Trichoderma* (cepas Ta.13 y Ta.78) a la semilla como alternativa agroecológica. El tratamiento a la semilla con *Trichoderma*, permitió incrementos en las variables fisiológicas en la altura de las plantas, masa seca área de la planta, largo de la raíz y masa seca de la raíz. A la vez, se contribuyó al aumento de los componentes del rendimiento (P_m² y GLL_P), disminuyó el número de P_inf_m² y el número de G_V por panículas. Todas estas variables están relacionadas directamente con el rendimiento agrícola alcanzado. En otras investigaciones en arroz se evidenció que la aplicación de diferentes cepas de *Trichoderma* en condiciones de campo, adicionalmente mostraron efecto estimulante, que se tradujo en un mayor crecimiento en la planta, lo que repercutió en el rendimiento agrícola del cultivo ^(7,14). Otros autores demostraron resultados similares en cuanto al potencial que tiene la aplicación de *Trichoderma* en promover el rendimiento en cultivos tales como, ajo "*Allium sativum* L." ⁽¹⁹⁾, tomate "*Solanum lycopersicum* L." ⁽²³⁾ y en el caso específico del arroz "*Oryza sativa* L." ^(14,24), pero en otras condiciones de suelo, de clima y métodos de aplicación con diferentes cepas de *Trichoderma*.

CONCLUSIONES

- La aplicación de las cepas de *T. asperellum* (*Ta.13* y *Ta.78*), muestran una tendencia al incremento en la presencia de *Trichoderma* spp. en el suelo Gleysol Nodular ferruginoso petroférico en condiciones de cultivo del arroz con riego.
- La aplicación de bioproductos a base de cepas de *T. asperellum* (*Ta.13* y *Ta.78*), mediante la imbibición de la semilla por un periodo de 24 horas incrementan el crecimiento y el desarrollo de la planta de arroz, además del rendimiento agrícola entre un 20 y un 30 %.

BIBLIOGRAFÍA

1. Slafer GA, Savin R. Physiology of crop yield. In: Encyclopedia of Plant and Crop Science [Internet]. 2015 [cited 21/04/2021]. p. 1–4. Available from: <https://www.springer.com/gp/book/9781493986200>
2. FAO. Situación Alimentaria Mundial Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [Internet]. 2019 [cited 21/04/2021]. Available from: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/es/>
3. FAO. La FAO estima un incremento de la producción de cereales del 2,7% en la campaña 2019/2020 hasta llegar a los 2.722 millones de toneladas [Internet]. 2019 [cited 21/04/2021]. Available from: <https://www.agronewscastillayleon.com/la-fao-estima-un-incremento-de-la-produccion-de-cereales-del-27-en-la-campana-20192020-hasta-llegar>
4. ONEI. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca. In: Anuario Estadístico de Cuba. Oficina Nacional de Estadística e Información, Sitio en Actualización [Internet]. La Habana, Cuba; 2018 [cited 21/04/2021]. Available from: <http://www.onei.gob.cu/node/15024>
5. MINAG. Instructivo Técnico Cultivo de Arroz [Internet]. 1st ed. Cuba: II Granos; 2014 [cited 21/04/2021]. 73 p. Available from: <https://isbn.cloud/9789597210863/instructivo-tecnico-cultivo-de-arroz/>
6. Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I, Lorito M. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature reviews microbiology. 2004;2(1):43–56.
7. Martínez-Medina A, Fernández I, Sánchez-Guzmán MJ, Jung SC, Pascual JA, Pozo MJ. Deciphering the hormonal signalling network behind the systemic resistance induced by *Trichoderma harzianum* in tomato. Frontiers in Plant Science. 2013;4:206.
8. du Jardin P. The Science of Plant Biostimulants—A bibliographic analysis, Ad hoc study report. UK: European Commission; 2012 p. 43.
9. Agamez Ramos EY, Zapata Navarro RI, Oviedo Zumaqué LE, Barrera Violeth JL. Evaluación de sustratos y procesos de fermentación sólida para la producción de esporas de *Trichoderma* sp. Revista colombiana de biotecnología. 2008;10(2):23–34.

10. Reyes Duque Y, Infante Martínez D, Martínez Coca B. Eficacia de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg para el control de *Rhizoctonia solani* Kühn en condiciones de campo. *Revista de Protección Vegetal*. 2016;31(2):107–13.
11. J. Hernández A, M Pérez JJ, Bosch ID, Castro SN. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. 1st ed. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015. 93 p.
12. Ruiz-Sánchez M, Muñoz-Hernández Y, Dell’Amico JM, Polón-Pérez R. Irrigation water management in rice crop (*Oryza sativa* L.) by transplant, it’s effect on the agricultural and industrial performance. *Cultivos Tropicales*. 2016;37(3):178–86.
13. International Rice Research Institute (IRRI). Standard evaluation system for rice [Internet]. 5th ed. Manila, Philippines: IRRI, International Rice Research Institute; 2013 [cited 21/04/2021]. 55 p. Available from: <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/50383518.html>
14. Núñez Muñoz L, Pavone Maniscalco D. Tratamiento biológico del cultivo de arroz en condiciones de vivero empleando el hongo *Trichoderma* spp. *Interciencia*. 2014;39(3):185–90.
15. Angladette A. El arroz, técnicas agrícolas y producciones tropicales. España: Blume; 1975 p. 221–32.
16. Maqueira-López LA, Morejón-Rivera R, Roján-Herrera O, Torres-de-la-Noval W. Relationship between growth traits and yield formation in Indica-type rice crop. *Agronomía Mesoamericana*. 2019;30(1):79–100.
17. Vargas JP. El arroz y su medio ambiente. In: Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Cali, Colombia: International Center for Tropical Agriculture; 2010. p. 83–97.
18. Pozo-Galves C, Cabrera-Alonso JR, Márquez-Reina E, Hernández-Hernández O, Ruiz-Sanchez M, Domínguez-Palacio D. Características y clasificación de suelos Gley Nodular Ferruginoso bajo cultivo intensivo de arroz en Los Palacios. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(4):58–64.
19. Rivera-Méndez W, Brenes-Madriz J, Zúñiga-Vega C. Effects of the application of *Trichoderma asperellum* and its culture filtrate on the growth of onion seedlings. *Revista Tecnología en Marcha*. 2018;31(2):98–105.
20. Durán Mora J. Guía de ingredientes activos de bioplaguicidas. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE proyecto fomento de productos fitosanitarios no sintéticos; 2004 p. 92.
21. Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L, Del-Val EK, Larsen J. Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. *FEMS microbiology ecology*. 2016;92(4):1–17.
22. Ruiz-Sánchez M, Dell’Amico-Rodríguez JM, Cabrera-Rodríguez JA, Muñoz-Hernández Y, Aroca R, Ruiz-Lozano JM. Respuesta de la planta de arroz a la suspensión de la lámina de agua. Parte III. *Cultivos Tropicales*. 2020;41(2).

23. Fernández Gómez E. Efecto de *Trichoderma asperellum* cepa T34 y compost en plantas de tomate frente estrés biótico [Doctoral]. [España]: Universidad de Barcelona; 2017. 142 p.
24. Charoenrak P, Chamswarnng C. Efficacies of wettable pellet and fresh culture of *Trichoderma asperellum* biocontrol products in growth promoting and reducing dirty panicles of rice. Agriculture and Natural Resources. 2016;50(4):243–9.