



## Control de *Sclerotium cepivorum* y promoción del crecimiento en ajo (*Allium sativum*) con microorganismos antagonistas<sup>1</sup>

### Control of *Sclerotium cepivorum* and growth promotion in garlic (*Allium sativum*) whit antagonist microorganisms

Yimmy Alexander Zapata-Narváez<sup>2</sup>, Magda Rocío Gómez-Marroquín<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Recepción: 27 de abril, 2021. Aceptación: 1 de octubre, 2021. Este trabajo se desarrolló dentro del proyecto de investigación “Generación de componentes tecnológicos para el control de pudrición blanca en aliáceas”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) con recursos de la transferencia variable año 2019 del Ministerio de Agricultura del gobierno de Colombia.
- <sup>2</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Tibaitatá - Mosquera, Cundinamarca, Colombia. [jzapatan@agrosavia.co](mailto:jzapatan@agrosavia.co) (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-7586-209X>), [mrgomez@agrosavia.co](mailto:mrgomez@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0002-7487-0805>).

## Resumen

**Introducción.** La pudrición blanca producida por *Sclerotium cepivorum* causa pérdidas superiores al 50 % en cultivos de ajo, la principal alternativa de control es la aplicación de fungicidas químicos con una eficacia limitada, es necesario integrar alternativas que contribuyan con el desarrollo de estrategias de manejo de la enfermedad. **Objetivo.** Evaluar la eficacia de microorganismos antagonistas aplicados individual y en mezcla frente a *S. cepivorum* en ajo. **Materiales y métodos.** La presente investigación se desarrolló en condiciones controladas en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), durante el año 2019. El suelo se infestó artificialmente con esclerocios (10 esclerocios/g de suelo). Se evaluó la eficacia del uso individual y en mezclas bajo diferentes frecuencias de aplicación en drench de tres antagonistas, *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma koningiopsis* y *Bacillus amyloliquefaciens*, cepas Th034, Th003 y Bs006, respectivamente, en el control de *S. cepivorum* en ajo y en la promoción del crecimiento vegetal expresada como peso seco de raíz, bulbo y parte foliar. **Resultados.** La mayor eficacia, con un 65 % en el control de la enfermedad, se obtuvo al aplicar Th003 en siembra y 15 dds y con un 56 % al aplicar las mezclas de Th003+Th034 en siembra; Th003+Th034 en siembra, 15, 30 y 45 dds; y Th003+B006 en la siembra, 15 y 30 dds, mientras que Tebuconazol presentó un 35 %. **Conclusión.** La aplicación de los antagonistas en forma individual o en mezclas en diferentes frecuencias redujo la mortalidad a causa de la pudrición blanca en ajo. Se observó un efecto positivo en el crecimiento de las plantas de ajo con la aplicación de las cepas Th003 + Bs006 en siembra, 15 y 30 dds; Th003 en siembra, Th003 en siembra y 15 dds, y Th034 + Bs006 en siembra, con valores superiores de peso seco con respecto al control.

**Palabras clave:** pudrición blanca, control biológico, promoción de crecimiento.

## Abstract

**Introduction.** White rot produced by *Sclerotium cepivorum* causes losses greater than 50 % in garlic crops, the main control alternative is the application of chemical fungicides with limited efficacy, it is necessary to integrate



alternatives that contribute to the development of disease management strategies. **Objective.** To evaluate the efficacy of antagonistic microorganisms applied individually and as a mixture against *S. cepivorum* in garlic. **Materials and methods.** This research was carried out under controlled conditions at the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), during 2019. The soil was artificially infested with sclerotia (10 sclerotia/g soil). The efficacy of the individual use and in mixtures under different drench applications frequencies of three antagonists *Trichoderma koningiopsis*, *Trichoderma asperellum*, and *Bacillus amyloliquefaciens*, strains Th003, Th034, and Bs006, respectively, in the control of *S. cepivorum* in garlic and in the promotion of plant growth expressed as root, bulb, and foliar dry weight was evaluated. **Results.** The highest efficacy, with 65 % in disease control was obtained when applying Th003 at sowing and 15 das and with 56 % when applying the mixtures of Th003 + Th034 at sowing, Th003 + Th034 at sowing, 15, 30, and 45 das, and Th003 + Bs006 at sowing, 15 and 30 das, while Tebuconazole presented an efficacy of 35 %. **Conclusion.** The application of antagonists individually or in mixtures at different frequencies reduced mortality due to white rot in garlic. A positive effect on garlic plants growth was observed with the application of Th003 + Bs006 strains at sowing, 15 and 30 das, Th003 at sowing, Th003 at sowing and 15 das, and Th034 + Bs006 at sowing, with higher values of dry weight with respect to the control.

**Keywords:** white rot, biological control, growth promotion.

## Introducción

La producción de ajo (*Allium sativum*) está supeditada al uso de agroquímicos, tanto como para mejorar las condiciones de fertilidad como para el control de plagas y enfermedades. Sin embargo, la exposición constante a los plaguicidas ha ocasionado la pérdida de la microbiota nativa del suelo en el agroecosistema, elimina especies de microorganismos benéficos que cumplen roles determinantes en la sanidad de este, mediante el ciclaje de nutrientes o en la supresión de patógenos y plagas (Chi-Chu, 2010; Yang et al., 2011).

La ausencia de una microbiota funcional en los suelos agrícolas donde se cultiva el ajo de forma continua, ha permitido que patógenos como *Sclerotium cepivorum* se establezcan y que la pudrición blanca, enfermedad que produce, sea devastadora y llegase a producir pérdidas que pueden ir desde un 30 % a la pérdida total del cultivo (Amin et al., 2014; Lourenço et al., 2018).

La pudrición blanca es la principal limitante fitosanitaria del género *Allium*, debido a que el hongo afecta cualquier estado de desarrollo de la planta, produce esclerocios, estructuras de resistencia que le permite sobrevivir en el suelo por más de veinte años y que se diseminan por el agua, herramientas o equipos, y los fungicidas utilizados para el control de la enfermedad solo son efectivos en su estado vegetativo (Amin et al., 2014; Lourenço et al., 2018; Velásquez Valle et al., 2012).

Se utilizan fungicidas como Benomil, Carbendazim, Iprodion y Tebuconazol (Pinzón et al., 2012; Velásquez-Valle & Reveles-Hernández, 2016), que pueden presentar una vida media de hasta cinco semanas en el suelo y pueden causar efectos negativos sobre diferentes poblaciones de hongos, en particular en aquellos que inician los procesos de descomposición de la materia orgánica, así como en hongos formadores de micorrizas (Cycoñ et al., 2006; O'Connor et al., 2009; Tejada et al., 2011).

Dada la complejidad en el control de la pudrición blanca, una de las alternativas a implementar es el uso de bioplaguicidas formulados a base de microorganismos antagonistas que tengan la capacidad de reducir el inóculo del patógeno mediante la degradación de esclerocios; en este punto, especies de los géneros *Trichoderma* o *Bacillus*, han demostrado la capacidad de degradar esclerocios de patógenos como *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor*, *Rhizoctonia solani* o *S. cepivorum* (Smith et al., 2013; Zapata-Narváez et al., 2020). Estos microorganismos aplicados de forma preventiva logran una reducción del inóculo en suelo, de forma directa

a través de micoparasitismo (Vujanovic & Goh, 2011), además, pueden inhibir al patógeno una vez que los esclerocios han germinado, dada su capacidad de colonizar el suelo y la rizosfera, compitiendo por espacio y nutrientes, produciendo enzimas o compuestos antifúngicos, e induciendo respuestas de defensa en la planta (Shafi et al., 2017; Singh et al., 2018).

Es posible potenciar el control sobre *S. cepivorum* mediante las aplicaciones de mezclas de antagonistas, mediado por un efecto sinérgico con la combinación de diferentes mecanismos de acción (Xu & Jeger, 2013), la estimulación de respuestas de defensa, competencia por espacio y nutrientes o la producción de enzimas líticas de *Trichoderma* sp. (Cotes, 2011; El Komy et al., 2015; Simbaqueba et al., 2011), sumada a la producción de lipopéptidos como iturrinas y fengicinas o ácidos grasos y fenoles como cloroxilenol, ácido pentadecanoico con actividad antifúngica producidos por *B. amyloliquefaciens* (Shafi et al., 2017).

Bajo este contexto es necesario desarrollar alternativas de control que se puedan integrar en programas de manejo del cultivo de ajo, es así como, el objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de microorganismos antagonistas aplicados en individual y en mezcla frente a *S. cepivorum* en ajo.

## Materiales y métodos

### Localización

Este trabajo se realizó durante cuatro meses del 2019, en una casa de malla y en el Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca, Colombia).

### Material vegetal

Bulbos libres de esclerocios de ajo morado colombiano (*Allium sativum*) obtenidos de un cultivo comercial, con 2,5 meses de secado a 23 °C, se desgranaron para obtener las semillas, y se descartaron aquellas que presentaban pudriciones generadas por hongos y bacterias, seleccionando las que presentaban un tamaño entre 2 a 3 cm. Luego, se desinfectaron mediante un lavado con una solución de hipoclorito de sodio al 2 % (NaClO) por 3 min. y tres lavados con agua estéril.

### Patógeno y producción de inóculo

Se utilizó el aislado S10 de *S. cepivorum*, obtenido a partir de una planta de ajo con signos de la enfermedad y proveniente de un cultivo del municipio de Sopo (departamento de Cundinamarca). Su inóculo se obtuvo a partir de la producción y cosecha de esclerocios en cultivos del hongo a partir de micelio en medio Agar Papa Dextrosa (PDA Oxoid®), incubados a 18 °C por 24 días. La cosecha de los esclerocios se realizó mediante el raspado del agar, almacenándolos en tubos Falcon a 18 °C y previo a su uso se desinfectaron mediante lavado con NaClO al 2 %, secándolos a 30 °C por 24 h (Zapata-Narváez et al., 2020). Además, se realizó una prueba de germinación en medio agar PDA, se sembraron treinta esclerocios por triplicado y se determinó el porcentaje de esclerocios viables.

### Microorganismos antagonistas y sus mezclas

Los bioplaguicidas utilizados fueron Tricotec® WG (granulo dispersable) a base de conidios de *Trichoderma koningiopsis* cepa Th003 y dos prototipos de bioplaguicida, uno WG a base de conidios de *Trichoderma asperellum*

cepa Th034 y otro líquido a base de esporas de *Bacillus amyloliquefaciens* cepa Bs006, desarrollados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) (Díaz-García et al., 2015; Santos et al., 2012). Se realizaron tres mezclas entre los bioplaguicidas (Th003 + Th034; Th003 + Bs006 y Th034 + Bs006); la concentración de uso fue de  $1 \times 10^6$  conidios/mL para los hongos y  $1 \times 10^8$  esporas/mL para la bacteria, aplicados de forma individual o en mezclas.

### **Eficacia de los antagonistas y sus mezclas en el control de *S. cepivorum***

Suelo sin esterilizar se inoculó con 100 esclerocios por kg, esta concentración se determinó por revisión de literatura y una prueba inicial (datos no mostrados), usando 6,5 kg en canastillas plásticas de 55 cm x 35 cm x 40 cm, cubiertas en su interior con una película de polipropileno para evitar su pérdida. Se realizó la inmersión de los dientes de ajo en 100 mL de las suspensiones de los antagonistas y sus mezclas durante 10 min, luego se sembraron en las canastillas a una profundidad de 2,5 cm y a una distancia 10 x 10 cm y se realizó la aplicación en drench de cada suspensión (0,5 L por canastilla). Las frecuencias y momentos de aplicación evaluados fueron: a) la siembra b) siembra y 15 días después de la siembra (dds), c) siembra, 15 y 30 dds, d) siembra, 15, 30 y 45 dds. El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones, donde la unidad experimental consistió en una canastilla con 15 dientes. Se contó con un control sin inocular, uno patógeno y uno químico (Tebuconazol 1 L / 200 L aplicado en la siembra, 15, 30 y 45 dds). El experimento se mantuvo por 110 días en una casa de malla a una temperatura promedio en el día de 20 °C con riego cada tres días. Se determinó la incidencia de la pudrición blanca por tratamiento cada 15 días a partir de los primeros síntomas observados y se calculó la eficacia en su reducción, con la fórmula de Schneider-Orelli, Porcentaje de eficacia =  $((b - k) / (100 - k)) * 100$ , donde b = incidencia en el tratamiento y k = incidencia en el control patógeno (Koller et al., 2016).

### **Efecto de los antagonistas y sus mezclas sobre el crecimiento vegetal**

El efecto de los antagonistas y sus mezclas sobre el crecimiento vegetal se determinó mediante la técnica de peso seco para el sistema radicular, el bulbo y de la parte foliar, para lo cual se tomaron de cada tratamiento doce plantas sanas, a las cuales se les lavó la raíz y el bulbo para retirar el suelo, se cortaron las diferentes estructuras empacándolas separadas en bolsas de papel, dejándolas en un horno a 60 °C hasta que la biomasa estuvo completamente seca, luego las muestras se pesaron en una balanza analítica (Kern PFB 600-1M).

### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos para la incidencia y peso seco de las diferentes estructuras se analizaron mediante un diseño completamente al azar con tres repeticiones, donde la unidad experimental consistió en una canastilla con quince dientes. Se contó con un control sin inocular, uno patógeno y uno químico (Tebuconazol). Se aplicó a los resultados un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), con el software estadístico Statistix 10.0.

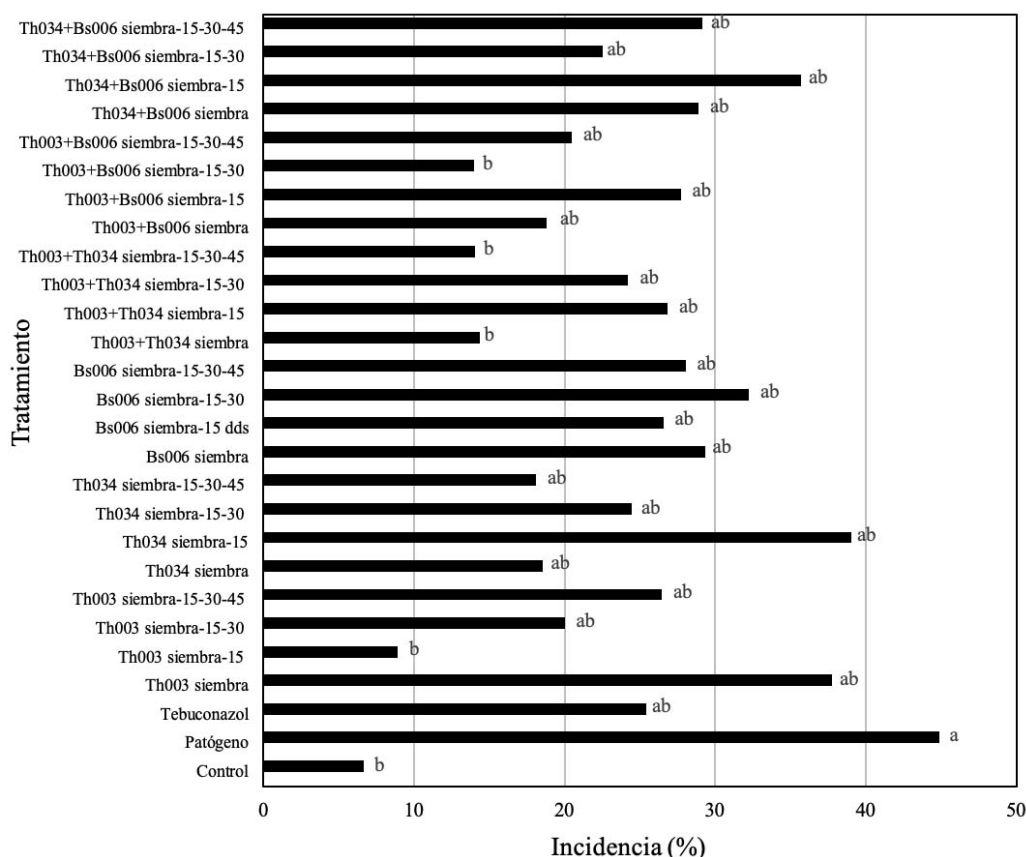
## **Resultados**

### **Eficacia de los antagonistas y sus mezclas en el control de *S. cepivorum***

La enfermedad se manifestó en todos los tratamientos, incluso en el control donde se presentó una incidencia del 7 % correspondiente a tres plantas de una misma réplica, situación que se puede asociar a un evento de

contaminación cruzada con otro tratamiento, por ejemplo, al realizar el retiro de arvenses, al utilizar una herramienta que previamente se usó en un tratamiento inoculado con el patógeno.

En el control patógeno se presentó una incidencia del 45 %, la cual fue menor con las aplicaciones de los antagonistas. El tratamiento que mostró mejores resultados fue la aplicación de la cepa Th003 en siembra y 15 dds, con una incidencia del 9 %, seguido de las aplicaciones de las mezclas entre cepas Th003 + Th034 en siembra; cepas Th003 + Th034 en siembra, 15, 30 y 45 dds; y cepas Th003 + Bs006 en siembra, 15 y 30 dds, con una incidencia del 14 %; además fueron los únicos tratamientos que presentaron diferencias significativas con respecto al control patógeno. El resto de los tratamientos, incluido las aplicaciones de Tebuconazol (25 %), presentaron una incidencia entre el 19 % y 38 % (Figura 1). De esta forma con una eficacia en el control de la pudrición blanca del 65 %, la aplicación de Th003 en siembra y 15 dds fue el mejor tratamiento, seguido de las mezclas de Th003 + Th034 aplicados en siembra; Th003 + Th034 aplicadas en siembra, 15, 30 y 45 dds, y Th003 + Bs006 aplicadas en la siembra, 15 y 30 dds, con una eficacia del 56 %, mientras que la aplicación de Tebuconazol presentó una eficacia del 35 % (Figura 2).

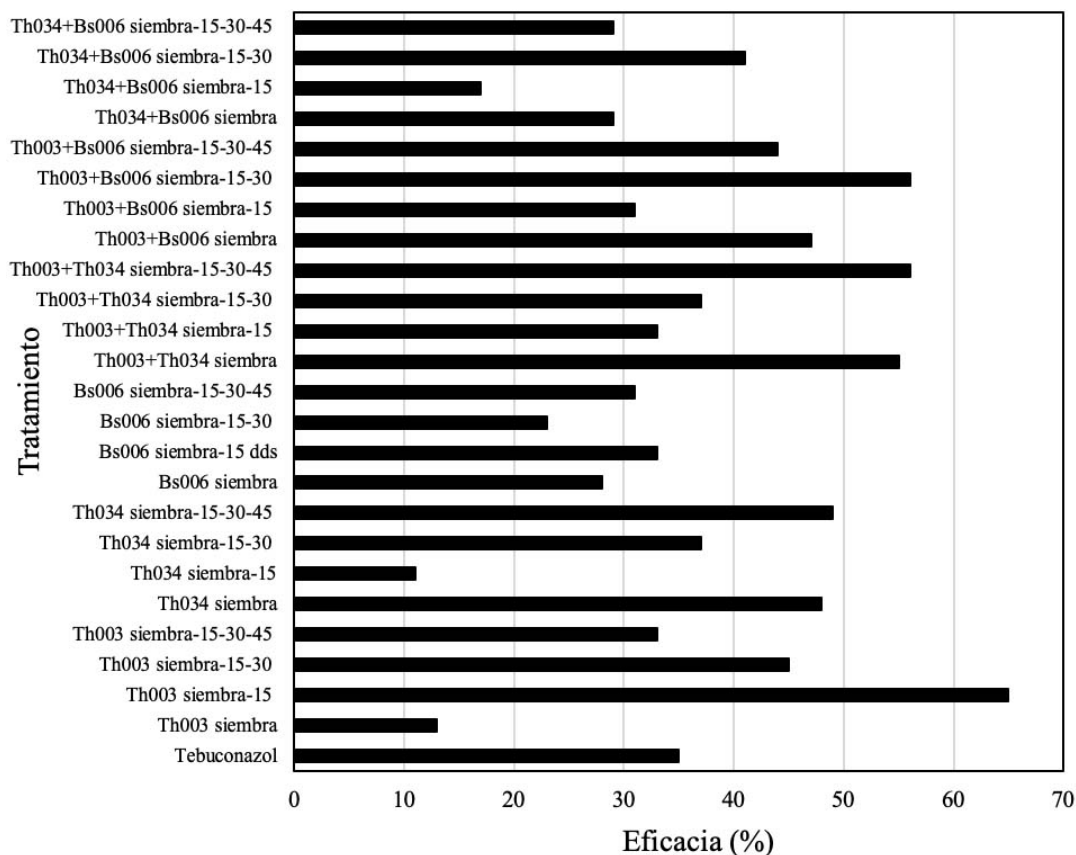


**Figura 1.** Incidencia de la pudrición blanca (*Sclerotium cepivorum*) en plantas de ajo morado (*Allium sativum*), 110 después de aplicados los bioplaguicidas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de investigación Tibaitatá, Colombia, 2019.

Columns with the same letter are not significantly different according to Tukey test (\*= p>0.05).

**Figure 1.** White rot (*Sclerotium cepivorum*) incidence on garlic purple (*Allium sativum*) plants, 110 days after applying biopesticides. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA). Research Center Tibaitata, Colombia, 2019.

Columns with same letter are not significantly different according to Tukey test (\*= p>0.05).



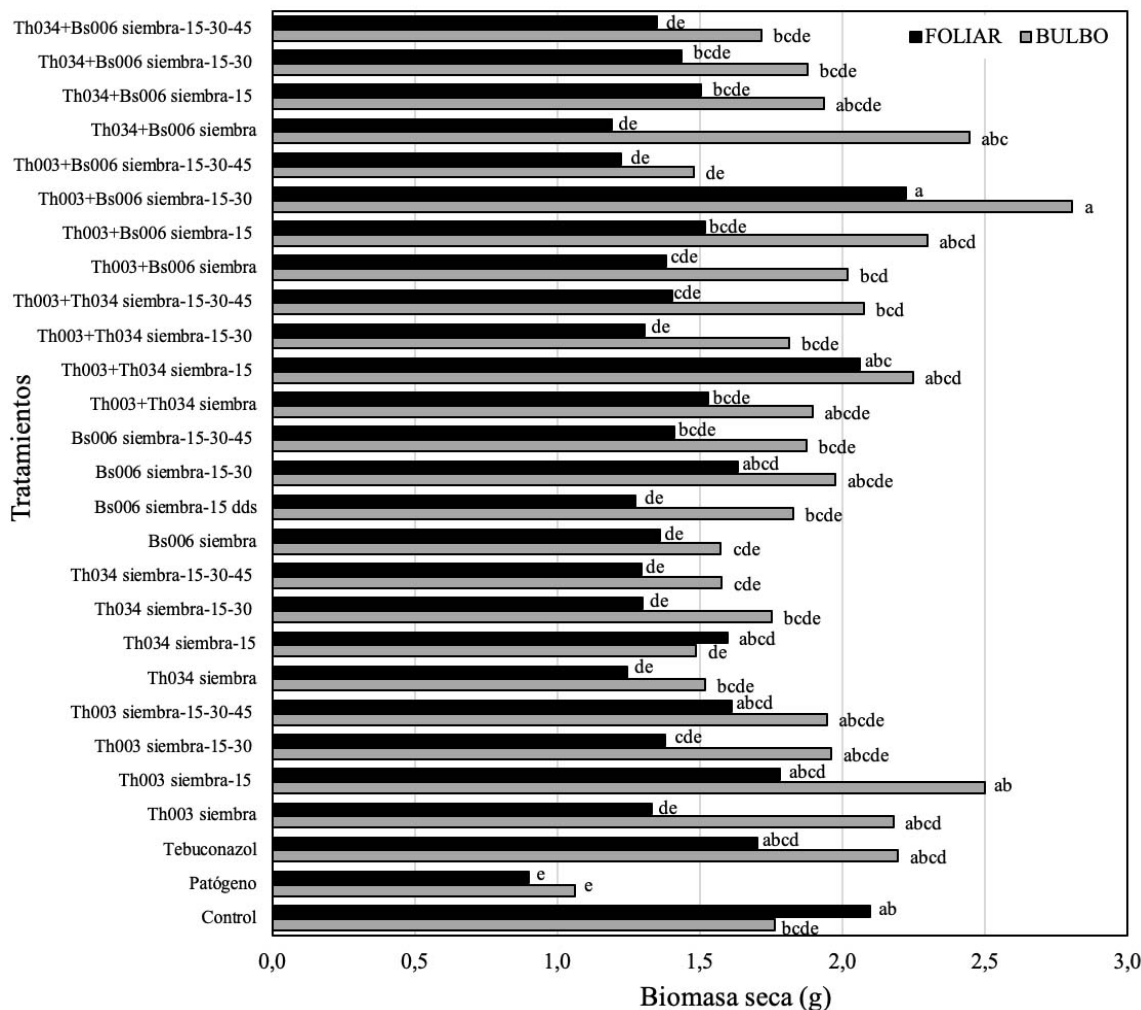
**Figura 2.** Eficacia de los tratamientos en el control de la pudrición blanca (*Sclerotium cepivorum*) del ajo morado (*Allium sativum*), 110 días después de aplicados los bioplaguicidas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá. Colombia, 2019.

**Figure 2.** Treatment's efficacy in the control of white rot (*Sclerotium cepivorum*) of purple garlic (*Allium sativum*), 110 days after applying biopesticides. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Research Center Tibaitata, Colombia, 2019.

### Efecto de los antagonistas y sus mezclas sobre el crecimiento vegetal

Aún en presencia de *S. cepivorum*, se observó el efecto de algunos tratamientos sobre el crecimiento vegetal en las plantas que no presentaban síntomas o signos de la enfermedad, al aplicar las mezclas respecto a la aplicación individual de los antagonistas, donde se destacó la aplicación de Th003 en siembra y 15 dds en el peso seco del bulbo con una media de 2,5 g. Sin embargo, para las tres muestras analizadas, se encontró que la aplicación de la mezcla entre Th003 + Bs006 en siembra, 15 y 30 dds, presentó los mayores valores para el peso seco de raíz, bulbo y la parte aérea con medias de 0,44 g, 2,8 g y 2,2 g, respectivamente, seguida de la mezcla entre Th003 + Th034 en siembra y 15 dds, con valores medios de 0,38 g para raíz, 2,2 g para bulbo y 2,06 g para la parte foliar (Figuras 3 y 4). En el control se obtuvieron medias de 0,38 g para la raíz, 1,76 g para el bulbo y 2,10 g para la parte foliar,

mientras que con las aplicaciones de Tebuconazol las medias fueron de 0,36 g para raíz, 2,19 g para bulbo y 1,70 g para la parte foliar; en tanto que el control patógeno presentó los menores valores de peso seco con medias de 0,199 g, 0,9 g y 1,06 g para raíz, bulbo y la parte foliar, respectivamente (Figura 3 y 4).

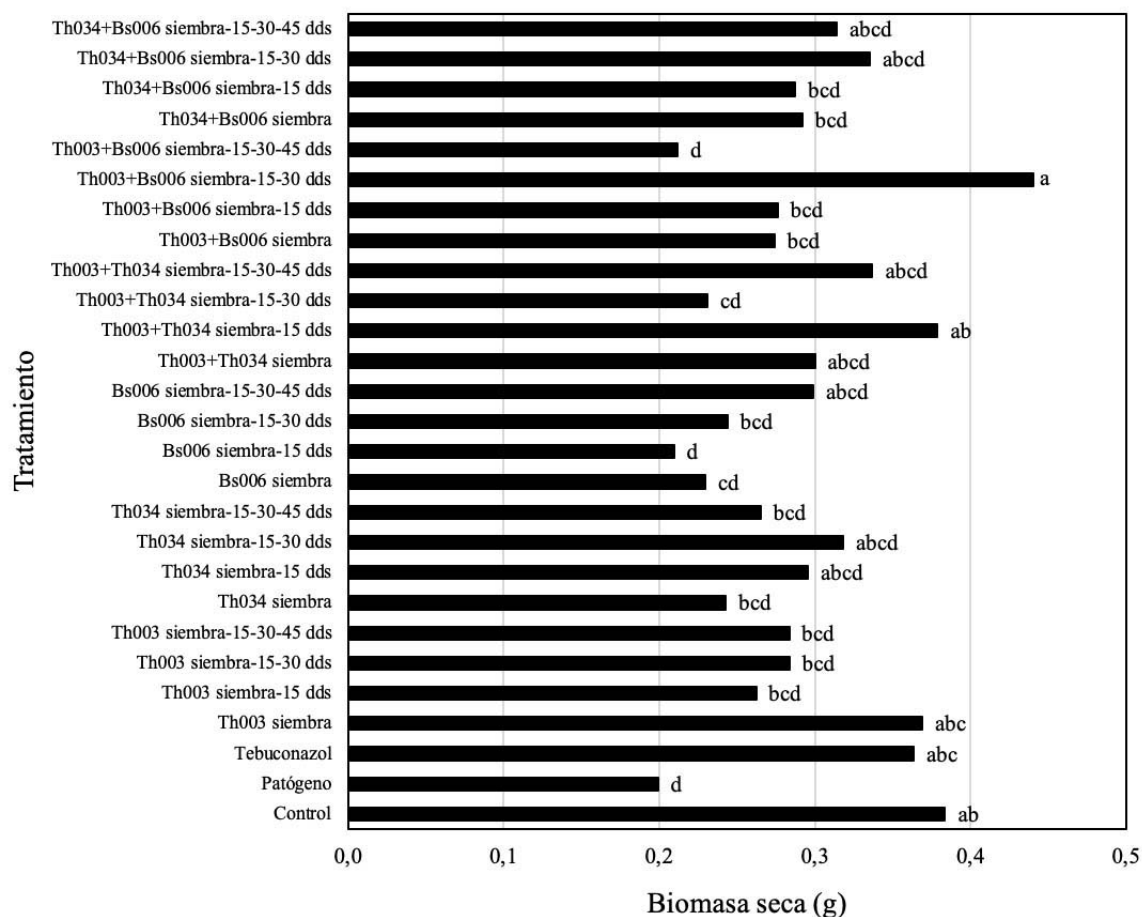


**Figura 3.** Biomasa seca obtenida en bulbo y rama de las plantas de ajo morado (*Allium sativum*), después de 110 días de aplicados los bioplaguicidas para el combate de la pudrición blanca (*Sclerotium cepivorum*), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Tibaitatá, Colombia, 2019.

Columnas con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey (\*= p>0,05).

**Figure 3.** Dry biomass obtained in the bulb and branch of purple garlic (*Allium sativum*) plants, 110 days after applying biopesticides for the white rot (*Sclerotium cepivorum*) control. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Research Center Tibaitata, Colombia, 2019.

Columns with same letter are not significantly different according to Tukey test (\*= p>0.05).



**Figura 4.** Biomasa seca de la raíz de las plantas de ajo morado (*Allium sativum*), después de 110 días de aplicados los bioplaguicidas para el combate de la pudrición blanca (*Sclerotium cepivorum*). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Tibaitatá, Colombia, 2019.

Columnas con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey (\*= p>0,05).

**Figure 4.** Dry biomass of the root of purple in garlic (*Allium sativum*) plants, 110 days after applying biopesticides for the white rot (*Sclerotium cepivorum*) control. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA). Research Center Tibaitata, Colombia, 2019.

Columns with same letter are not significantly different according to Tukey test (\*= p>0.05).

## Discusión

Aunque el bioensayo no completó el ciclo de cultivo, *S. cepivorum* puede afectar cualquier estado fisiológico de la planta, después de emisión de raíces, periodo en el cual se inicia la producción y secreción de compuestos de sulfuro, los cuales estimulan la germinación de los esclerocios de *S. cepivorum* y la posterior infección del tejido (Lourenço et al., 2018). A partir de la incidencia obtenida en el control patógeno (45 %) fue posible determinar la eficacia sobre el control de la enfermedad para los tratamientos evaluados, la cual está relacionada con las pérdidas reportadas para esta enfermedad en el cultivo de ajo (Amin et al., 2014; Lourenço et al., 2018).



La aplicación de los microorganismos antagonistas presentó diferentes valores de eficacia frente al control de la enfermedad, lo que puede estar relacionado con la frecuencia de aplicación. Al inicio la imbibición de la semilla en las suspensiones de los antagonistas o sus mezclas supone el inicio del establecimiento del biocontrolador en la semilla, y con su posterior aplicación al momento de la siembra, su establecimiento en el suelo, que puede interactuar con los esclerocios de *S. cepivorum*, lo que reduce su inóculo. Se ha demostrado que *T. koningiopsis*, *T. asperellum* y *B. amyloliquefaciens* cepas Th003, Th034 y Bs006, respectivamente, pueden colonizar y degradar esclerocios de *S. cepivorum* (Zapata-Narváez et al., 2020).

Con solo una y dos aplicaciones los tratamientos correspondientes a Th003 + Th034 aplicados en la siembra y Th003 aplicado en la siembra y 15 dds con una eficacia del 56 % y 65 %, respectivamente, presentaron el mayor control de la enfermedad comparada con tratamientos aplicados tres o cuatro veces más o con las aplicaciones de Tebuconazol. Sumado a una posible degradación de esclerocios del patógeno, se podría asociar en los tratamientos en los que se aplicó *T. koningiopsis* cepa Th003 un fenómeno de inducción de respuestas de defensa en las plantas, mecanismo descrito para este hongo y cuyo efecto se ha observado en plantas de tomate, en las cuales su interacción con el antagonista limitó el daño producido por *Fusarium oxysporum* (Jaimes Suárez et al., 2009), además, en un estudio se encontró para este hongo, genes relacionados con la inducción de respuestas de defensa y con la promoción del crecimiento vegetal (Simbaqueba et al., 2011).

Las mezclas de los antagonistas, ya sea la combinación de las dos especies de *Trichoderma* o de cada una de estas con y *B. amyloliquefaciens*, mostraron eficiencia en el control de la enfermedad, se sugiere realizar ensayos que permitan determinar su comportamiento en campo y luego validarlo a nivel comercial como una alternativa de manejo de la pudrición blanca en aliáceas. Aunque se conoce que hay compatibilidad entre los microorganismos utilizados en este ensayo (datos no mostrados), es necesario realizar estudios que permitan desarrollar un bioplaguicida con las combinaciones de antagonistas más eficientes.

Respecto a la promoción de crecimiento vegetal, aún en presencia del patógeno, se observaron para las variables evaluadas comportamientos similares o mejores con respecto al control, para los tratamientos que incluyeron a *T. koningiopsis* cepa Th003 y *B. amyloliquefaciens* cepa Bs006. La capacidad de *B. amyloliquefaciens* cepa Bs006 para colonizar el sistema radicular de ajo (dato no mostrado), permitió evidenciar un efecto sobre el crecimiento, el cual podría estar mediado por la producción de hormonas como el ácido indol-3-acético (IAA) y las giberelinas (Díaz-García et al., 2015; Gámez et al., 2018; Zapata & Díaz, 2012).

Los resultados mostraron que la aplicación de los antagonistas o sus mezclas aplicadas en diferentes momentos redujeron el impacto negativo de la pudrición blanca y tuvieron efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas, pero es necesario evaluar su comportamiento en campo, con base en el desempeño de los mejores tratamientos en periodos secos y de alta humedad, y de ser necesario integrar su aplicación con fungicidas de síntesis en periodos en que las condiciones del ambiente favorezcan el desarrollo del patógeno con el riesgo de una mayor incidencia en el cultivo.

## Conclusiones

La aplicación de los antagonistas de forma individual o en mezclas en diferentes frecuencias redujo la mortalidad a causa de la pudrición blanca en ajo. Hubo mayor eficacia (entre un 6 % y 30 %) con las aplicaciones de *Trichoderma koningiopsis* cepa Th003 en la siembra y 15 dds y de las mezclas entre cepa Th003 + Th034 (*Trichoderma asperellum*) en siembra, Th003 + Th034 en siembra, 15, 30 y 45 dds, y Th003 + Bs006 (*Bacillus amyloliquefaciens*) en siembra, 15 y 30 dds, con respecto a las aplicaciones de Tebuconazol.

Las aplicaciones de los antagonistas mostraron un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas de ajo, ya las plantas sanas de los tratamientos con las cepas Th003 + Bs006 en siembra, 15 y 30 dds, Th003

en siembra, Th003 en siembra y 15 dds, y Th034 + Bs006 en siembra, tuvieron valores similares o incluso mayores de peso seco para la medición de bulbos con respecto al control.

## Referencias

- Amin, M., Tadele, S., & Selvaraj, T. (2014). White rot (*Sclerotium cepivorum*-Berk) an aggressive pest of onion and garlic in Ethiopia: An overview. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 6(1), 6-15. <https://doi.org/10.5897/JABSD2013.0210>
- Chi-Chu, Lo. (2010). Effect of pesticides on soil microbial community. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 45(5), 348–359. <https://doi.org/10.1080/03601231003799804>
- Cotes, A. M. (2011). Aislamiento, selección y mecanismos de acción de *Trichoderma koningiopsis*. En M. I. Gómez, & A. M. Santos (Ed.), *Uso de Trichoderma koningiopsis Th003 para el control de fitopatógenos en hortalizas* (pp. 9-18). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1780>
- Cycoń, M., Piotrowska-Seget, Z., Kaczyńska, A., & Kozdrój, J. (2006). Microbiological characteristics of a sandy loam soil exposed to tebuconazole and  $\lambda$ -cyhalothrin under laboratory conditions. *Ecotoxicology*, 15, 639–646. <https://doi.org/10.1007/s10646-006-0099-8>
- Díaz-García, A., García-Riaño, J., & Zapata-Narváez, J. (2015). Improvement of sporulation conditions of a new strain of *Bacillus amyloliquefaciens* in liquid fermentation. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6(4), 302-310. <http://doi.org/10.4236/abb.2015.64029>
- El Komy, M. H., Saleh, A. A., Eranthodi, A., & Molan, Y. Y. (2015). Characterization of novel *Trichoderma asperellum* isolates to select effective biocontrol agents against tomato *Fusarium* wilt. *The Plant Pathology Journal*, 31(1), 50–60. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.09.2014.0087>
- Gámez, R., Cardinale, M., Montes, M., Ramirez, S., Schnell, S., & Rodriguez, F. (2018). Screening, plant growth promotion and root colonization pattern of two rhizobacteria (*Pseudomonas fluorescens* Ps006 and *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006) on banana c.v. Williams (*Musa acuminata* Colla). *Microbiological Research*, 2(20), 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.006>
- Jaimes Suárez, Y. Y., Moreno Velandia, C. A., & Cotes Prado, A.M. (2009). Inducción de resistencia sistémica contra *Fusarium oxysporum* en tomate por *Trichoderma koningiopsis* Th003. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 111-120. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/1344>
- Koller, M., Rayns, F., Cubison, S., Schmutz, U., Messelink, G. J., & Voogt, W. (2016). *Guidelines for experimental practice in organic greenhouse horticulture*. BioGreenhouse. <https://doi.org/10.18174/373581>
- Lourenço, V., Vieira, B. S., Lopes, E. A., & Villalta, O. N. (2018). Etiology, epidemiology, and management of white rot on onion and garlic: Current knowledge and future directions for Brazil. *Científica*, 46(3), 241-256. <http://doi.org/10.15361/1984-5529.2018v46n3p241-256>
- O'Connor, P., Manjarrez, M., & Smith, S. E. (2009). The fate and efficacy of benomyl applied to field soils to suppress activity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Canadian Journal of Microbiology*, 55(7), 901–904. <https://doi.org/10.1139/W09-035>

- Pinzón, H., Escobar, H., & Parra, M. (2012). *Producción de semilla garantizada de ajo*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. [https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field\\_attached\\_file/pdf-\\_produccion\\_de\\_semilla\\_garantizada\\_de\\_ajo-11-15.pdf](https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-_produccion_de_semilla_garantizada_de_ajo-11-15.pdf)
- Santos, A., García, M., Cotes, A. M., & Villamizar, L. (2012). Efecto de la formulación sobre la vida útil de los bioplaguicidas a base de dos aislados colombianos de *Trichoderma koningiopsis* Th003 y *Trichoderma asperellum* Th034. *Revista Iberoamericana de Micología*, 29(3), 150-156. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2011.11.002>
- Shafi, J., Tian, H., & Ji, M. (2017). *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 31(3), 446-459. <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1286950>
- Simbaqueba, J., Cotes, A. M., & Barrero, L. S. (2011). Linkage mapping of candidate genes for induce resistance and growth promotion by *Trichoderma koningiopsis* (Th003) in tomato *Solanum lycopersicum*. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 47-62. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/14797>
- Singh, A., Shukla, N., Kabadwal, B., Tewari, A., & Kumar, J. (2018). Review on Plant- *Trichoderma* -Pathogen interaction. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 2382-2397. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.702.291>
- Smith, A., Beltrán, C. A., Kusunoki, M., Cotes, A. M., Motohashi, K., Kondo, T., & Deguchi, M. (2013). Diversity of soil-dwelling *Trichoderma* in Colombia and their potential as biocontrol agents against the phytopathogenic fungus *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. *Journal of General Plant Pathology*, 79(1), 74-85. <https://doi.org/10.1007/s10327-012-0419-1>
- Tejada, M., Gómez, I., García-Martínez, A. M., Osta, P., & Parrado, J. (2011). Effects of Prochloraz fungicide on soil enzymatic activities and bacterial communities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(6), 1708-1714. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.04.016>
- Velásquez-Valle, R., & Reveles-Hernández, M. (2016). Efecto de agentes de manejo alternativo sobre el desarrollo de pudrición blanca de ajo. *Revista Mexicana de Micología*, 44, 41-47.
- Velásquez Valle, R., Reveles Hernández, M., Medina Aguilar, M. M., & Amador Ramírez, M. D. (2012). Efecto de la preparación del suelo en la dispersión de esclerocios de *Sclerotium cepivorum* Berk. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 30(2), 150-154.
- Vujanovic, V., & Goh, Y. K. (2011). *Sphaerodes mycoparasitica* biotrophic mycoparasite of 3-acetyldeoxynivalenol- and 15-acetyldeoxynivalenol-producing toxigenic *Fusarium graminearum* chemotypes. *FEMS Microbiology Letters*, 316(2), 136-143. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2010.02201.x>
- Xu, X. M., & Jeger, M. J. (2013). Theoretical modeling suggests that synergy may result from combined use of two biocontrol agents for controlling foliar pathogens under spatial heterogeneous conditions. *Phytopathology*, 103(8), 768-775. <https://doi.org/10.1094/phyto-10-12-0266-Rr>
- Yang, C., Hamel, C., Vujanovic, V., & Gan, Y. (2011). Fungicide: Modes of Action and Possible Impact on Nontarget Microorganisms. *ISRN Ecology*, 2011, 1-8. <https://doi.org/10.5402/2011/130289>
- Zapata, J., & Díaz, A. (2012). Evaluaciones en invernadero y selección de prototipos a base de rizobacterias. En A. Díaz (Ed.), *Estrategias de control biológico de Fusarium oxysporum en el cultivo de uchuva* (pp. 57-63). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12610>

Zapata-Narváez, Y. A., Gómez-Marroquín, M. R., & Botina-Azain, B. L. (2020). Evaluation of microbial antagonists and essential oils to control *Sclerotium cepivorum* in garlic under controlled conditions. *Mexican Journal of Phytopathology*, 38(2), 182-197. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2002-2>