

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Selección y caracterización de hongos entomopatógenos para el control de *Cerotoma tingomariana*

Selection and characterization of entomopathogenic fungi against *Cerotoma tingomariana*

Cindy Mejía Maldonado^{1*} , Carlos Espinel Correal¹ , Adriana Santos Díaz¹ , Judith Guevara Agudelo² , Erika Grijalba Bernal¹ 

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- AGROSAVIA. Centro de Investigación Tibaitatá. km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca, Colombia

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- AGROSAVIA. Centro de Investigación la Libertad. km 17 vía Puerto López, Meta, Colombia

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 02/03/2020
Aceptado: 04/09/2020

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses.

AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

Cindy Nayibe Mejía Maldonado
cnmejia@agrosavia.co



RESUMEN

Cerotoma tingomariana (Coleoptera: Chrysomelidae), es una de las plagas que afecta el cultivo de soya, ya que reduce significativamente su rendimiento. Como una alternativa para el control de este insecto, se utiliza el control biológico mediante el uso de hongos entomopatógenos. El objetivo de este estudio fue seleccionar y caracterizar ecofisiológicamente un hongo entomopatógeno debido a su alta eficacia y crecimiento a diferentes condiciones de temperatura, pH y radiación UV-B. Se evaluó la actividad biológica de diez aislamientos de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium* spp. sobre *C. tingomariana* bajo condiciones de laboratorio. Los aislamientos Bv003 y Bv060 de *B. bassiana* se seleccionaron con una concentración letal media CL₅₀ de 5,6 x 10⁴ conidios/mL para Bv003 y de 5,8 x 10⁵ conidios/mL para el aislamiento Bv060, siendo el aislamiento Bv003, 10,4 veces más virulento que Bv060. Al evaluar la eficacia en condiciones de invernadero se obtuvieron eficacias del 54,5 % y 79,5 %, respectivamente. Ambos aislamientos presentaron crecimiento óptimo a pH de 5 a 7, en contraste, temperaturas superiores a 30 °C y tiempos de exposición a la radiación UV-B superiores a 18,8 minutos, afectaron de forma significativa el crecimiento de los hongos entomopatógenos con una mayor tasa de crecimiento para el hongo Bv003. El aislamiento de *B. bassiana* Bv003 fue seleccionado por su potencial para ser utilizado

como ingrediente activo de un bioplaguicida para el control de *C. tingomariana* en el cultivo de soya debido a su alta virulencia y mayor tolerancia a radiación UV-B.

Palabras clave: *Beauveria bassiana*, tolerancia, virulencia, pH, temperatura

ABSTRACT

Cerotoma tingomariana (Coleoptera: Chrysomelidae), is one of the major pests that affect soybean crops, which can significantly reduce crop yield. The use of entomopathogenic fungi (EPF), an alternative method of control, has come into the prominence. To contribute in the management of the pest, the objective of this study was to select and characterize an entomopathogenic fungus by high efficacy and tolerance to temperature, pH and UV-B radiation. Ten fungal isolates of the fungus *Beauveria bassiana* and *Metarhizium* spp. were tested against *C. tingomariana* under laboratory conditions. Bv003 and Bv060 isolates were selected with mean values of LC_{50} were 5.6×10^4 and 5.8×10^5 conidia/mL, respectively. Bv003 was 10,4 times more virulent than Bv060. At greenhouse condition, efficacies 54.5 % and 79.5 % were obtained with the application of LC_{90} to adults of *C. tingomariana*, respectively. Both isolates had an optimal growth at pH range of 5-7, in contrast, the fungal growth was inhibited at temperatures above 30 °C and by exposure to UV-B radiation above 18,8 minutes. Finally, the isolate Bv003 was selected as a microorganism with the potential to be used as biopesticide for the control of *C. tingomariana* in soybean crops.

Keywords: *Beauveria bassiana*, tolerance, virulence, pH, temperature

INTRODUCCIÓN

Los crisomélidos *Cerotoma trifurcata* (Coleoptera: Chrysomelidae) y *Cerotoma arcuata* (Coleoptera: Chrysomelidae), son algunas de las mayores plagas que afectan el cultivo de soya a nivel mundial (Bortolotto *et al.*, 2015). En Colombia, *Cerotoma tingomariana* (Bechyné) (Coleoptera: Chrysomelidae) es considerado una de las principales plagas limitantes para este cultivo. Este insecto puede causar reducciones significativas ocasionando daños hasta del 40 % en el área foliar y hasta un 45 % en la fijación de nitrógeno (Hadi *et al.*, 2012). El manejo de la plaga se establece durante los periodos de floración y desarrollo de la planta con tres o cuatro aplicaciones de plaguicidas de síntesis química, los cuales tienen un efecto negativo sobre la salud humana y el medio ambiente; además, la aplicación excesiva conlleva al desarrollo de resistencia a estos químicos por parte del insecto plaga (Szendrei *et al.*, 2012).

El uso de métodos alternativos para el manejo de la plaga como el control biológico es recomendado. En Brasil, los aislamientos fúngicos de *Beauveria bassiana* (Ascomycota:

Hypocreales) y *Metarhizium anisopliae* (Ascomycota: Hypocreales) han sido evaluados contra larvas de segundo instar de *Cerotoma arcuata* (Coleoptera: Chrysomelidae) con mortalidades entre 80 y 100 % bajo condiciones de laboratorio y campo (Teixeira y Franco, 2007). De igual manera, la aplicación de estos hongos a dosis de 500 y 1000 g conidios/ha en suelo y de 250 y 500 g conidios/60 kg de semilla, mejoró el control de larvas de primer instar en condiciones de casa de malla (Quintela *et al.*, 1990). Sin embargo, el uso de hongos entomopatógenos ha sido limitado debido a su baja eficacia y persistencia en condiciones de campo, como resultado de la baja tolerancia a condiciones abióticas de estrés (Rangel *et al.*, 2015, Butt *et al.* 2016). Con el fin de seleccionar hongos entomopatógenos eficientes, la virulencia ha sido considerada como el factor más importante. Sin embargo, varios autores han establecido la importancia de la tolerancia a condiciones ambientales (temperatura, pH y radiación UV) en el proceso de selección los cuales impactan el desarrollo tecnológico de un bioplaguicida y su aplicación en campo (Shin *et al.*, 2017). En ese

sentido y con el propósito de contribuir al control biológico de *C. tingomariana* en cultivos de soya *Glycine max* (Fabales: Fabaceae) en Colombia, el objetivo de este estudio fue seleccionar y caracterizar ecofisiológicamente aislamientos de hongos entomopatógenos para el control de *C. tingomariana*, teniendo en cuenta su eficacia y tolerancia a condiciones como temperatura, radiación ultravioleta (UV-B) y pH.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en los laboratorios de entomología de los centros de investigación de La Libertad (Meta, Colombia) y Tibaitatá (Cundinamarca, Colombia) de la Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA. Se evaluaron seis aislamientos de *Beauveria bassiana* codificados como Bv003, Bv015, Bv025, Bv054, Bv060, Bv061; tres aislamientos de *Metarhizium anisopliae* codificados como Mt004, Mt031, Mt043, y un aislamiento de *Metarhizium robertsii* codificado como Mt015. Todos los aislamientos fueron suministrados por el Banco de Germoplasma con Interés en Control Biológico de AGROSAVIA y están cobijados dentro del contrato de acceso a recursos genéticos No. 168 de 2017. Los aislamientos se sembraron en Agar Papa Dextrosa (Sigma®) y se incubaron a 25 ± 2 °C durante 7 días y fueron conservados a 4 ± 2 °C. Los adultos de *C. tingomariana* se colectaron de cultivos de soya en la Orinoquia, Colombia (Villavicencio - Meta, N 04.05922; W 073.45953), con una altitud de 336 m, precipitación anual promedio de 2933 mm y una temperatura promedio de 26 °C, y posteriormente mantenidos en condiciones de casa de malla (T: 27 ± 5 °C; RH: 75 ± 5 %).

Selección de hongos entomopatógenos para el control de *C. tingomariana*

La selección de los hongos entomopatógenos se realizó mediante la evaluación de la actividad biológica en condiciones de laboratorio, en donde se determinó la eficacia de los 10 aislamientos sobre *C. tingomariana*.

Para esto, adultos de *C. tingomariana* se asperjaron con 20 mL de una suspensión de conidios de cada aislamiento, ajustada a una concentración de 1×10^7 conidios/mL en tween®80 al 0,1 %. Los adultos inoculados se ubicaron en cajas plásticas de 20 x 20 x 9 cm con hojas de frijol provenientes de una siembra de plantas en casa de malla. Se tomaron las hojas de plantas en estado vegetativo. Las cajas plásticas se incubaron durante 20 días a 27 ± 4 °C y HR 70 ± 5 %. El experimento fue completamente al azar y cada tratamiento contó con tres réplicas de 10 individuos. El porcentaje de mortalidad fue determinado a los 20 días después de la inoculación y los resultados fueron corregidos con la mortalidad del tratamiento control para expresar la eficacia utilizando la fórmula de Schneider-Orelli (Zar, 1999):

$$Eficacia = \frac{b - k}{100 - k} \times 100$$

Donde,

b = mortalidad en el tratamiento

k = mortalidad en el tratamiento control

Concentraciones letales de hongos entomopatógenos

Los aislamientos seleccionados se sembraron en Agar Papa Dextrosa (Sigma®) y fueron incubados a 25 ± 2 °C durante 7 días. Los conidios de cada aislamiento se recuperaron en una solución estéril de tween®80 al 0,1 %. Cada suspensión de conidios se ajustó a la concentración evaluada mediante el recuento de conidios en cámara de Neubauer. Para la evaluación de cada aislamiento, los adultos de *C. tingomariana* se inocularon con las concentraciones de 1×10^4 , 1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 y 1×10^8 conidios/mL y como tratamiento control se utilizó una solución tween®80 a 0,1 %. El diseño experimental fue completamente al azar y cada tratamiento contó con tres réplicas de 10 adultos. La mortalidad fue registrada diariamente y se determinaron las concentraciones letales mediante el análisis Probit, utilizando el programa POLO plus (versión 2.0) (LeOra Software 2002-2015).

Eficacia de hongos entomopatógenos en condiciones de casa de malla

Los hongos entomopatógenos seleccionados se evaluaron contra *C. tingomariana* en condiciones de casa de malla (T: $27 \pm 5^\circ\text{C}$; RH: $75 \pm 5\%$). La unidad experimental consistió en una jaula de (90 x 90 x 120 cm) con dos plantas de soya de 30 días sembradas en materas de 5 kg con suelo. Utilizando una bomba de aspersión manual de 5 L, se aplicó la concentración letal noventa (CL_{90}) de cada hongo, asegurando la cobertura del follaje (40 mL por planta). Como tratamiento control se aplicó una solución de tween[®]80 al 0,1 %. Posterior a la aplicación, se liberaron 10 adultos de *C. tingomariana* en cada jaula. El diseño experimental fue completamente al azar con 5 réplicas por tratamiento. La mortalidad se registró cada 5 días durante 20 días considerando la longevidad de los adultos que se encuentra entre 40 a 65 días. El porcentaje de mortalidad fue corregido con la mortalidad del control usando la fórmula de Schneider-Orelli (Zar, 1999).

Caracterización ecofisiológica de hongos entomopatógenos

Efecto de la radiación UV-B

Se preparó una suspensión de conidios a la concentración de 1×10^6 conidios/mL mediante recuento en cámara de Neubauer. Como variables respuesta se evaluaron la germinación de conidios y la viabilidad expresada en unidades formadoras de colonia (UFC). Para la germinación de conidios, se sembraron 100 μL en una caja de Petri de 9 cm de diámetro con agar agua suplementado con benomil al 0,00005 %. Las cajas de Petri inoculadas se expusieron a una dosis de 0,198 a 0,990 J/cm^2 de radiación UV-B generada por una lámpara monocromática (Sylvania T8G30, 302 nm) durante 9 a 47 minutos. El tiempo de exposición fue determinado usando el Atlas de Radiación Solar en Colombia (IDEAM, 2018), en el que se encuentra registrada la intensidad de radiación de la zona de los Llanos Orientales de Colombia en donde se cultiva soya. Las cajas de Petri inoculadas e irradiadas se incubaron a

$25 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas, tiempo después del cual se cuantificó el número de conidios germinados y no germinados mediante observación al microscopio (Axio Lab.A1 ZEISS, Alemania) de 10 campos ópticos, por unidad experimental. Se consideró como conidio germinado cuando este presentaba un tubo germinal con longitud igual o superior al diámetro del conidio. Para determinar el número de unidades formadoras de colonia UFC/mL, se inoculó una suspensión del hongo a una concentración de 10^2 a 10^3 conidios/mL en cajas de Petri con agar papa dextrosa. Las cajas de Petri inoculadas se expusieron a las dosis de irradiación como se mencionó anteriormente y se incubaron durante a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 7 días. El tratamiento control correspondió al hongo no expuesto a radiación e incubado bajo las mismas condiciones. El diseño experimental fue completamente al azar y para cada variable respuesta se emplearon 3 unidades experimentales por tratamiento.

Efecto del pH

Se evaluó el efecto de los valores de pH de 3, 5, 7 y 9 sobre las variables germinación y crecimiento diametral. Para la variable germinación, se utilizó el medio de cultivo agar agua suplementado con benomil 0,00005 % con pH ajustado a 3, 5, 7 y 9, en donde se sembraron 100 μL de una suspensión a 1×10^6 conidios/mL. Las cajas de Petri inoculadas se incubaron durante 24 horas a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ en oscuridad y posteriormente se estableció el porcentaje de germinación. Para el crecimiento diametral, un disco de 5 mm del hongo crecido se colocó en una caja de Petri con agar papa dextrosa ajustada a los diferentes valores de pH evaluados. A los 3, 6, 9, 12 y 15 días de incubación se midió crecimiento diametral de forma perpendicular en cada una de las réplicas. El diseño experimental fue completamente al azar y se emplearon tres unidades experimentales por tratamiento.

Efecto de la temperatura

Se evaluaron las temperaturas de $15 \pm 2^\circ\text{C}$, $25 \pm 2^\circ\text{C}$, $30 \pm 2^\circ\text{C}$ y $35 \pm 2^\circ\text{C}$ siguiendo los

procedimientos descritos para la variable pH. Como variables respuesta se determinó la germinación de conidios y el crecimiento diametral.

Análisis estadístico

La normalidad y homocedasticidad de los resultados se determinaron mediante las pruebas de Shapiro Wilks (95 %) y Bartlett (95 %), respectivamente. Una vez demostrados estos principios, se procedió a un análisis de varianza ANOVA y a una prueba de comparación de medias de Tukey (95 %) utilizando el programa Statistix® versión 8.0 (Analytical Software, Florida, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

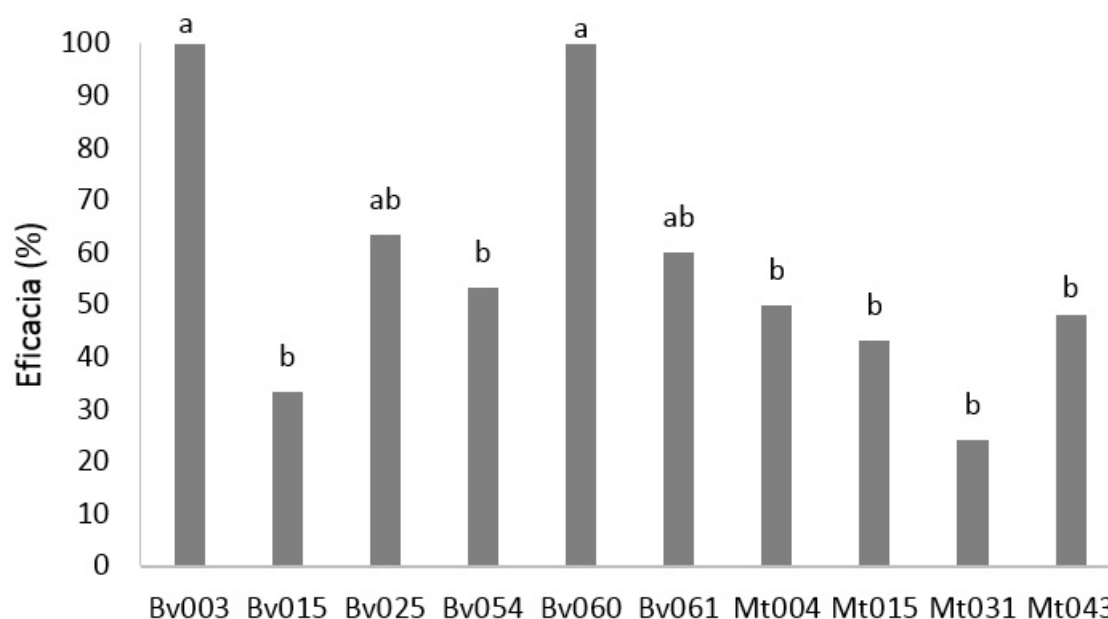
Selección de hongos entomopatógenos para el control de *C. tingomariana*

Los aislamientos de *M. anisopliae* y *M. robertsii* presentaron valores de eficacia inferiores al 50 % ($F=0,68$; $gl=8$; $p<0,05$) mientras que los aislamientos de *B. bassiana* Bv003 y Bv060 tuvieron una eficacia del 100 %, seguidos por Bv025 y Bv061 con eficacias del

63,3 % y 60,0 %, respectivamente (Figura 1). Teniendo en cuenta estos resultados, se seleccionaron los aislamientos Bv003 y Bv060 por presentar una eficacia del 100 % y un rendimiento alto como característica deseable de producción (datos no mostrados). La mortalidad del tratamiento control fue de 6,6 %. La elevada mortalidad causada por estos aislamientos puede estar relacionada con una mayor expresión de factores de virulencia como lipasas, proteasas y quitinasas (Mondal *et al.*, 2016).

Concentraciones letales de hongos entomopatógenos

La mortalidad de los insectos se relacionó con el aumento de la concentración de conidios de los aislamientos evaluados. La concentración letal media (CL_{50}) fue de $5,8 \times 10^5$ conidios/mL y $5,6 \times 10^4$ conidios/mL para los aislamientos Bv060 y Bv003, respectivamente. Respecto a la concentración letal CL_{90} , esta fue de $5,8 \times 10^7$ conidios/mL y de $1,3 \times 10^6$ conidios/mL, respectivamente (Tabla 1). Al calcular la potencia se demostró que el aislamiento Bv003 fue 10,4 veces más virulento que Bv060. Los



Barras con la misma letra no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Figura 1. Eficacia de los aislamientos de hongos entomopatógenos sobre adultos de *C. tingomariana* después de 20 días de inoculación

Tabla 1. Concentraciones letales de aislamientos de *B. bassiana* sobre *C. tingomariana* en laboratorio

Aislamiento	CL ₅₀ (conidios/ml)	CL ₉₀ (conidios/ml)	Límites de confianza		Límites de confianza		P	Heterogeneidad	
			LC ₅₀ (conidios/ml)		LC ₉₀ (conidios/mL)			χ ²	df
			inferior	superior	inferior	superior			
Bv060	5,8 x 10 ⁵	5,8 x 10 ⁷	2,4 x 10 ⁵	1,3 x 10 ⁶	1,6 x 10 ⁷	3,6 x 10 ⁸	0,759	1,54	3
Bv003	5,6 x 10 ⁴	1,3 x 10 ⁶	2,3 x 10 ⁴	1,1 x 10 ⁵	5,9 x 10 ⁵	5,9 x 10 ⁶	0,678	1,42	3

resultados obtenidos de las concentraciones letales de Bv003 y Bv060 son similares a los reportados para el control de otros insectos. Espinel *et al.* (2014) evaluaron un aislado de *Metarhizium rileyi* (anteriormente *Nomuraea rileyi*) en larvas de *Spodoptera frugiperda*, obteniendo un CL₅₀ de 1,17x10⁴ conidios/mL, resultado muy similar al obtenido con este trabajo. También, Baja *et al.* (2020) reportó concentraciones letales CL₅₀ de 3,5 x 10⁵ con/mL y 6,8 x 10⁶ con/mL al evaluar *B. bassiana* para el control de larvas de primer y segundo instar de *Duponchelia fovealis* y García *et al.* (2018) obtuvieron una concentración de 9,0 x 10⁶ con/mL para el control de larvas de segundo instar de *Diatraea saccharalis*.

Eficacia de hongos entomopatógenos en casa de malla

El aislamiento Bv060 aplicado a la CL₉₀ (5,8 x 10⁷ conidios/ml) obtuvo una eficacia del 79,5 %, significativamente más alta que el aislamiento Bv003 (54,5 %) a una concentración de 1,3 x 10⁶ conidios/mL (F=5,76; gl=1; p<0,05). La mortalidad en el tratamiento control fue del 12 %. El aislamiento Bv060 presentó una menor reducción en la eficacia en comparación con la eficacia obtenida en condiciones de laboratorio, siendo más tolerante a factores ambientales como la radiación UV, variaciones de temperatura y humedad. Esta tolerancia a condiciones de estrés está relacionada con diferentes mecanismos como la producción de trehalosa y polioles como el manitol que favorecen la estabilidad de las células, así como el origen de cada aislamiento, por lo cual puede presentar una mayor adaptación a dichas condiciones de estrés (Rangel *et al.*, 2015; Shin *et al.*, 2017).

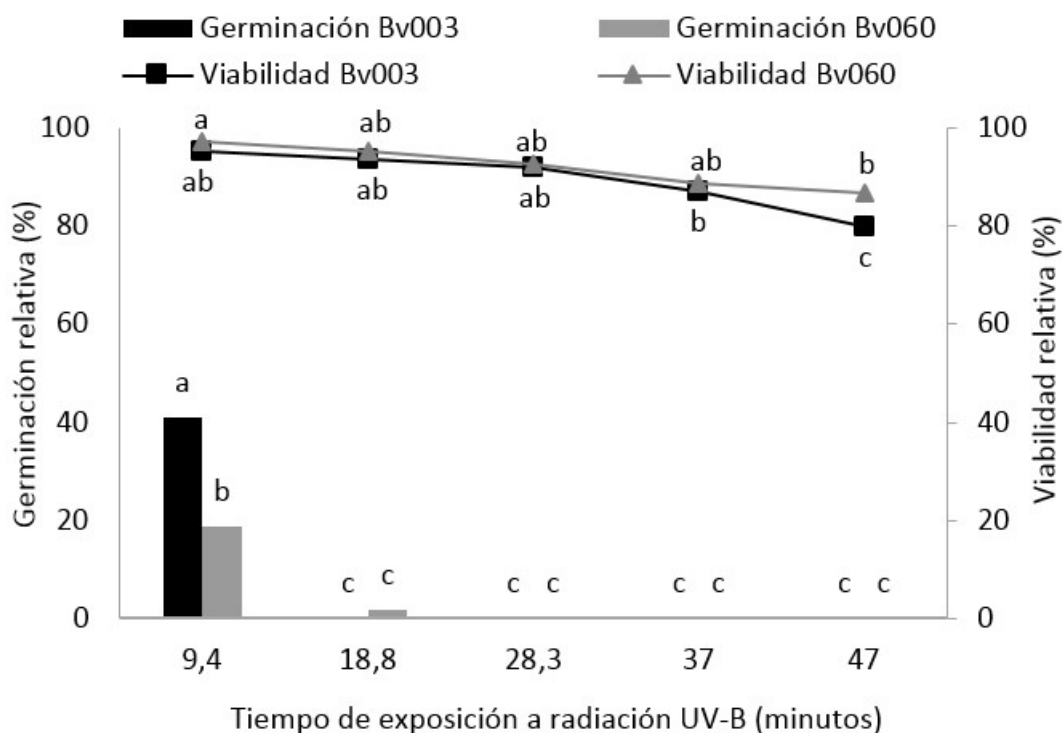
Caracterización ecofisiológica de hongos entomopatógenos

Efecto de la radiación UV-B

La radiación UV-B tuvo un efecto deletéreo sobre la germinación y viabilidad de los conidios de *B. bassiana*. Después de 9,42 minutos de exposición a la radiación, la germinación relativa de Bv003 fue significativamente más alta (40,0 %) comparada con el aislamiento Bv060 (18,9 %) (F=48,9, gl=29; p < 0,001). Además, se obtuvo una germinación cercana al 2 % después de 18,8 minutos de exposición. Aunque la germinación fue completamente inhibida después de 18,8 minutos de exposición, la viabilidad relativa (UFC/mL) fue superior al 90 %, alcanzando viabilidades del 79,6 % para Bv003 y 86,8 % para Bv060 después de 47 minutos de radiación (F=9.83, gl = 29; p < 0,001) (Figura 2). Este efecto deletéreo puede estar relacionado con interrupción del ciclo celular, daño en la estructura del ADN, ARN, proteínas y membranas, así como la inducción de especies reactivas de oxígeno que afectan la viabilidad celular (Rangel *et al.*, 2015, Santos *et al.*, 2017, Wang *et al.* 2019).

Efecto del pH

Los aislamientos Bv003 y Bv060 presentaron una alta tasa de crecimiento entre el rango de pH de 5 a 9, siendo mayor para el aislamiento Bv003 (F=20,5, gl= 23; p < 0,001) (Figura 3). Aunque el crecimiento diametral fue significativamente inhibido a pH de 9, la germinación fue superior al 90 % (F=241; gl=23; p < 0,001). Por otro lado, a pH 3 se inhibió significativamente la germinación y el crecimiento diametral de los hongos evaluados. Resultado similar al descrito por Zhu *et al.*,



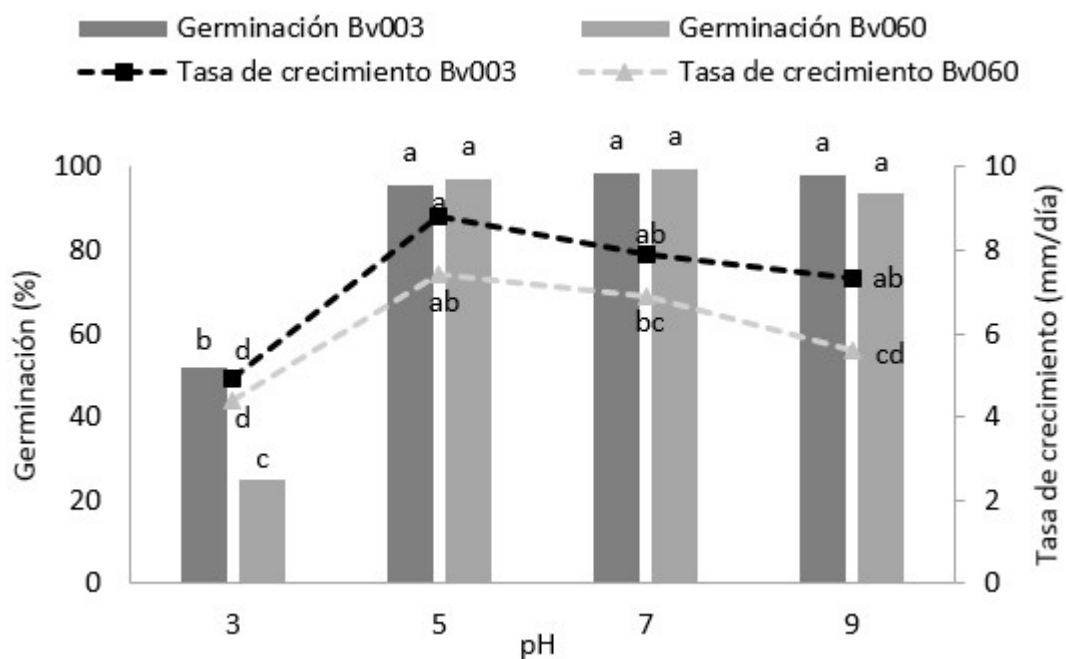
Para cada variable evaluada, tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (95 %)

Figura 2. Efecto de la radiación UV-B (302 nm) sobre la germinación de *B. bassiana* (Bv060 y Bv003)

(2016), quienes encontraron una disminución significativa en la germinación y en el proceso de conidiación de *B. bassiana* a los pH 3 y 9.

Efecto de la temperatura

A las cuatro temperaturas evaluadas, el crecimiento diametral de Bv003 fue



Tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (95 %)

Figura 3. Efecto del pH sobre el crecimiento de Bv003 y Bv060

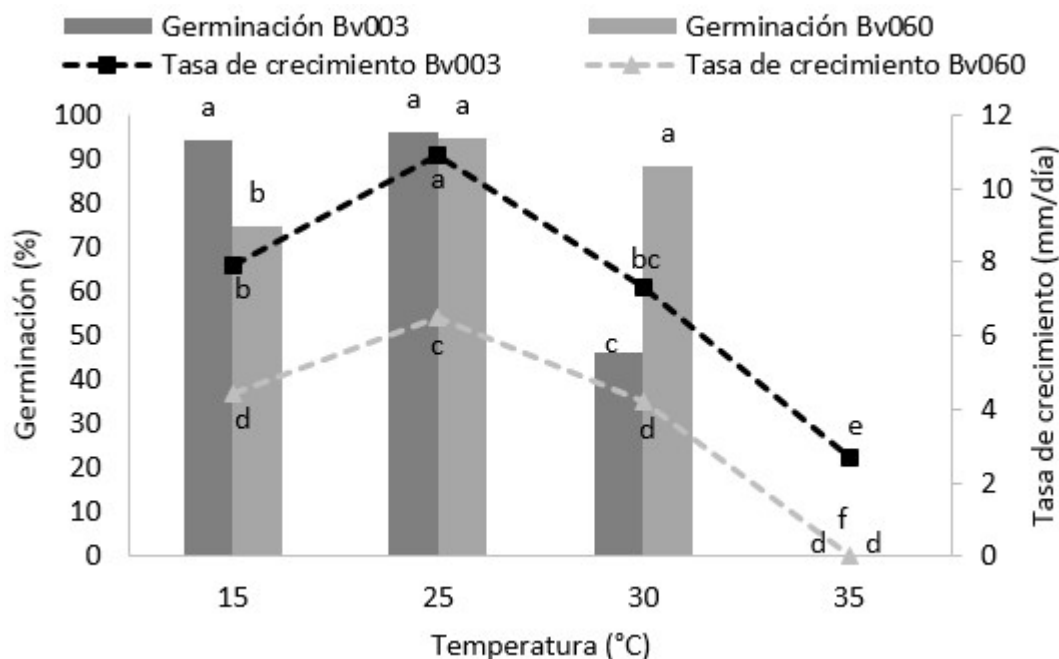
significativamente más alto en comparación con el aislamiento Bv060; siendo la temperatura óptima para ambos aislamientos de 25 °C ($F=149$; $gl=23$; $p < 0,001$) (Figura 4). El aislamiento Bv060 fue más tolerante al incremento de temperatura al presentar una germinación del 88,4 % en comparación del 46,2 % obtenido por Bv003 a 30 °C ($F=298$; $gl=23$; $p<0,001$), a diferencia de la temperatura de 15 °C en donde el aislamiento Bv003 fue más tolerante. Lo anterior, puede estar relacionado con el origen del aislamiento Bv060 el cual fue recuperado de una región con mayor altitud. El crecimiento de los dos aislamientos fue inhibido significativamente a la temperatura de 35 °C.

Los dos aislamientos de *B. bassiana* tuvieron respuestas similares a las condiciones ambientales evaluadas, sin embargo, difieren en la mortalidad causada sobre *C. tingomariana* en condiciones de laboratorio y de casa de malla, lo que indica que podrían existir otros factores relacionados con la virulencia, como la actividad enzimática que interviene en el proceso de degradación de la cutícula de los

insectos (Mondal *et al.*, 2016) y la tolerancia a otras condiciones de estrés (Rangel *et al.*, 2015). Además, la resistencia a condiciones extremas de temperatura y pH es una ventaja de los hongos entomopatógenos, ya que favorecen procesos como producción masiva y estabilidad de almacenamiento (Devi *et al.*, 2005). El aislado Bv003 se seleccionó de acuerdo con la concentración letal más baja (10,4 veces más virulento que el aislado Bv060) y una mayor tasa de crecimiento bajo las variables de temperatura y pH. Estos resultados muestran el potencial de *B. bassiana* para controlar *C. tingomariana* y otras especies de *Cerotoma* como se demostró previamente con resultados satisfactorios (Teixeira y Franco 2007; Payah y Boethel 1986).

CONCLUSIONES

El aislamiento Bv003 perteneciente a la especie de *B. bassiana* fue seleccionado debido a su alta virulencia frente a *C. tingomariana*, mayor tolerancia a radiación UV-B y mayor tasa de crecimiento bajo diferentes valores de pH y temperatura. Este microorganismo Bv003



Tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (95 %)

Figura 4. Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de Bv003 y Bv060

tiene un alto potencial para ser utilizado como principio activo de un bioplaguicida e implementado en un programa de manejo integrado de plagas y enfermedades.

AGRADECIMIENTOS

Lo autores agradecen a los miembros del proyecto “Un bioplaguicida para el control de crisomélidos en soya” y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia por la financiación del proyecto.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Cindy Mejía Maldonado: participó en desarrollo experimental, análisis de datos, redacción, revisión y aprobación del artículo.

Carlos Espinel Correal: participó en diseño de metodología, desarrollo experimental, análisis de datos, redacción, revisión y aprobación del artículo.

Adriana Santos Díaz: quien participó en desarrollo experimental, análisis de datos, redacción, revisión y aprobación del artículo.

Judith Guevara Agudelo: participó en diseño de metodología, desarrollo experimental, análisis de datos, redacción, revisión y aprobación del artículo.

Erika Grijalba Bernal: participó en diseño de metodología, en desarrollo experimental, análisis de datos, redacción, revisión y aprobación del artículo.

BIBLIOGRAFÍA

BAJA, F., POITEVIN, C.G., ARAUJO, E.S., *et al.* 2020. Infection of *Beauveria bassiana* and *Cordyceps javanica* on different immature stages of *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae). *Crop Protection*, 138: 1-9.

BORTOLOTTO, O., POMARI-FERNANDES, A., DE F. BUENO, R., *et al.* 2015. The use of soybean integrated pest management in

Brazil: a review. *Agronomy Science and Biotechnology*, 1(1): 25-32.

BUTT, T.M., COATES, C.J., DUBOVSKIY, I.M., RATCLIFFE, N.A. 2016. Entomopathogenic Fungi: New Insights into Host-Pathogen Interactions. *Advances in Genetics*, 94: 307-364.

DEVI, K.U., SRIDEVI, V., MOHAN, C.M., PADMAVATHI, J. 2005. Effect of high temperature and water stress on in vitro germination and growth in isolates of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin. *Journal of Invertebrate Pathology*, 88: 181-189.

ESPINEL, C., CHAPARRO, M., GRIJALBA, E., *et al.* 2014. Um novo bioinseticida a base de uma cepa colombiana de *Nomuraea rileyi* para o controle de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). En: Memorias, XXV Congresso Brasileiro de Entomologia, Goiânia, Brasil. 413 p.

GARCÍA, J.L., SOTELO, P., MONROY, D.M., *et al.* 2018. Identification and characterization of a *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. isolate having a high potential for the control of the *Diatraea* sp. sugarcane stem borer. *Biotecnologia Aplicada*, 35(1): 1201-1207.

HADI, B., BRADSHAW, J., RICE, M., HILL, J. 2012. Bean leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) and bean pod mottle virus in soybean: biology, ecology, and management. *Journal of Integrated Pest Management*, 3 (1): 1-7.

IDEAM. 2018. Atlas de Radiación Solar de Colombia. Ministerio de minas y energía -Unidad de planeación minero-energética (UPME) y Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial - Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. Bogotá. Disponible en: [https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/Atlas %20de %20radiaci %C3 %B3n %20solar %20Colombia.pdf](https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/Atlas%20de%20radiaci%C3%B3n%20solar%20Colombia.pdf) Consultado el

- 12/04/2018.
- MONDAL, S., BAKSI, S., KORIS, A., VATAI, G. 2016. Journey of enzymes in entomopathogenic fungi. *Pacific Science Review a: Natural Science and Engineering*, 18: 85-99.
- PAYAH, W.S. and BOETHEL, D.J. 1986. Impact of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin on survival of overwintering Bean Leaf Beetles, *Cerotoma trifurcate* (Fors ter), (Coleoptera, Chrysomelidae). *Journal of applied entomology*, 102 (1-5): 295-303.
- QUINTELA, ED., WRAIGHT, S., GALAINE-WRAIGHT, S., ROBERTS, D. 1990. Patogenicidade de *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* a *Cerotoma arcuata* Olivier (Coleoptera: Chrysomelidae) e *Elasmopalpus lignosellus* Zeller (Lepdoptera: Pyralidae). En: Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão. Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária, p. 39.
- RANGEL, D.E.N., BRAGA, G.U.L., FERNANDES, É.K.K., *et al.* 2015. Stress tolerance and virulence of insect-pathogenic fungi are determined by environmental conditions during conidial formation. *Current genetics*, 61: 383-404.
- SANTOS, A., BRANDÃO, P. F., VILLAMIZAR, L. 2017. Efecto de estrés térmico y de irradiación con luz ultravioleta (UV-B) sobre características de *Nomuraea rileyi* Nm006. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19: 81-91.
- SHIN, T.Y., BAE, S.M., KIM, D.J., *et al.* 2017. Evaluation of virulence, tolerance to environmental factors and antimicrobial activities of entomopathogenic fungi against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Mycoscience*, 58: 204-212.
- SZENDREI, Z., GRAFIUS, E., BYRNEA, A., ZIEGLER, A. 2012. Resistance to neonicotinoid insecticides in field populations of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Pest Management Science*, 68: 941-946.
- TEIXEIRA, M., FRANCO, A. 2007. Susceptibilidade de larvas de *Cerotoma arcuata* Olivier (Coleoptera: Chrysomelidae) a *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin, *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sorokin e *Bacillus thuringiensis* Berliner. *Ciência rural*, 37(1): 19-25.
- WANG, D.Y., FU, B., TONG, S.M., *et al.* 2019. Two Photolyases Repair Distinct DNA Lesions and Reactivate UVB-Inactivated Conidia of an Insect Mycopathogen under Visible Light. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(4): 1-16.
- ZAR, J.H. 1999. Biostatistical analysis. 4ta Edición. New Jersey, USA, Prentice Hall. 663 p.
- ZHU, J., YING, S. H., FENG, M. G. 2016. The Pal pathway required for ambient pH adaptation regulates growth, conidiation, and osmotolerance of *Beauveria bassiana* in a pH-dependent manner. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100 (10), 4423-4433.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.