

# Alternatives for the gray mold (*Botrytis cinerea*) control in cape gooseberry (*Physalis peruviana*) crop

## Alternativas para el control del moho gris (*Botrytis cinerea*) en el cultivo de uchuva (*Physalis peruviana*)

Yimmy Alexander Zapata-Narváez\*, Andrés Díaz-García, Camilo Rubén Beltrán-Acosta, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá - Km 14 Vía Mosquera, Cundinamarca-Colombia.

\*Corresponding author: jzapatan@agrosavia.co

Received: February 10, 2022.

Accepted: July 10, 2023.

Zapata-Narváez YA, Díaz-García A and Beltrán-Acosta CR. 2023. Alternatives for the gray mold (*Botrytis cinerea*) control in cape gooseberry (*Physalis peruviana*) crop. Mexican Journal of Phytopathology 41(3): 372-390.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2302-5>

First DOI publication: July 31, 2023.

Primera publicación DOI: 31 de Julio, 2023.

**Abstract.** The effect of the field applications of three bioproducts (based on *Trichoderma koningiopsis*, *Rhodotorula mucilaginosa*, and *Bacillus amyloliquefaciens*), the alternation of the biostimulant Kendal® and the *Swinglea glutinosa* extract and the rotations of two fungicides (based on Azoxystrobin-Difenoconazole and Thiram-Pyrimethanol), on the incidence of gray mold in cape gooseberry postharvest was evaluated. For this purpose, the fruit was harvested weekly in the field, arranged in wet chambers with fruits with and without calyx, and incubated for seven

**Resumen.** Se determinó el efecto sobre la incidencia del moho gris en postcosecha de uchuva de las aplicaciones en campo de tres bioproductos a base de *Trichoderma koningiopsis*, *Rhodotorula mucilaginosa* y *Bacillus amyloliquefaciens*, la alternancia del bioestimulante Kendal® y el extracto vegetal EcoSwing® y las rotaciones de fungicidas a base de Azoxistrobina - Difenoconazole y Thiram - Pyrimethanil. Semanalmente se cosechó la fruta, disponiendo en cámaras húmedas frutos con cáliz y sin este, incubadas durante siete días a 20 °C para promover el desarrollo de la enfermedad y determinar la eficacia en su control. Se realizó el seguimiento de las poblaciones de los antagonistas entre aplicaciones, mediante colecta de foliolos y el lavado en Tween 80 al 0.1%, sembrando alícuotas en medios específicos. En los frutos con cáliz la menor incidencia de la enfermedad con medias de 48 y 51% se presentó con las aplicaciones del hongo y la levadura respectivamente, mientras que en los frutos sin cáliz la incidencia no superó el 1.4% en todos los tratamientos. La población de antagonistas en la filósfera permaneció constante entre

days at 20 °C in laboratory conditions to promote the development of *B. cinerea* and determine the efficacy in its control. In addition, the populations of the microbial antagonists were monitored between applications by collecting the leaflets and washing them in 0.1% Tween 80 and sowing aliquots in specific culture media. In fruits with calyx, the lowest incidence of the gray mold, with averages of 48 and 51%, occurred with the applications of the bioproducts based on *T. koningiopsis* and *R. mucilaginosa*, respectively. In contrast, the incidence did not exceed 1.4% in fruits without calyx in all treatments. Furthermore, the population of microbial antagonists in the phyllosphere remained constant between applications, with counts of  $1 \times 10^3$  CFU  $g^{-1}$  for *T. koningiopsis* and  $1 \times 10^5$  CFU  $g^{-1}$  for *R. mucilaginosa* and *B. amyloliquefaciens*.

**Keywords:** Calyx, quiescent infections, incidence, efficacy.

The cape gooseberry (*Physalis peruviana*) crop in Colombia is important due to its economic impact, given the growing demand for this fruit in international markets (ICA, 2022). In the first seven months of 2022, fresh exports increased by 4.1% in comparison with the same period in 2021, with a FOB value of \$24.6 million, USD (ANALDEX, 2022), adding 5.29 t, equivalent to an increase of 10.4% in comparison with the same period in 2021 (ANALDEX, 2022). The total production in 2021 was 19.37 t in 1.44 ha, with an average yield of 11 t  $ha^{-1}$ , mainly in the departments of Cundinamarca (419 ha), Boyacá (404 ha), Nariño (204 ha) and Antioquia (146 ha), which represented 84% of the national production (AGRONET, 2022).

The crop also has a meaningful social impact due to the significant contribution towards food security, since in production costs, including

aplicaciones con recuentos de  $1 \times 10^3$  UFC  $g^{-1}$  para *T. koningiopsis* y de  $1 \times 10^5$  UFC  $g^{-1}$  para *R. mucilaginosa* y *B. amyloliquefaciens*.

**Palabras clave:** Cáliz, infecciones quiescentes, incidencia, eficacia.

En Colombia, el cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana*) es importante por su impacto económico dada la creciente demanda por esta fruta en los mercados internacionales (ICA, 2022). Durante los primeros siete meses del 2022, las exportaciones en fresco registraron un crecimiento del 4.1% frente al mismo periodo de 2021, con un valor FOB de USD 24.6 millones (ANALDEX, 2022), sumando 5.29 t equivalentes a un incremento del 10.4% con respecto al mismo periodo en 2021 (ANALDEX, 2022). La producción total en 2021 fue de 19.37 t en 1.44 ha, promediando un rendimiento de 11 t  $ha^{-1}$ , principalmente en los departamentos de Cundinamarca (419 ha), Boyacá (404 ha), Nariño (204 ha) y Antioquia (146 ha), que representaron el 84% de la producción nacional (AGRONET, 2022).

Adicionalmente, el cultivo tiene un impacto social importante, por el aporte significativo en seguridad alimentaria ya que, en los costos de producción, incluyendo cosecha y postcosecha, un 45% corresponde a mano de obra de mujeres, cabeza de familia. De otra parte, en la cadena productiva se demanda mano de obra adicional, ya que la uchuva que no se exporta (que puede representar un 40%), se transforma como fruta deshidratada, mermeladas, salsas, almíbares, entre otros subproductos que atienden el mercado nacional (ICA, 2022).

La uchuva es una baya carnosa y jugosa de color amarillo-naranja conocida por sus propiedades organolépticas (sabor, olor y color) y por su valor nutricional, al contener vitaminas A, B y C, Fe y P, fibra, carotenoides y flavonoides, conocidos por

harvest and postharvest, 45% corresponds to female workforce, heads of family. On the other hand, the productive chain demands additional workforce, since the cape gooseberry that is not exported (which can be 40%) is transformed into dried fruit, jams, sauces, syrups, and other subproducts that serve the national market (ICA, 2022).

The cape gooseberry is a fleshy and juicy yellow-orange berry known for its organoleptic properties (flavor, odor, and color) and its nutritional value since it contains vitamins A, B, and C, Fe and P, fiber, carotenoids, and flavonoids, known for their antioxidant properties (Puente *et al.*, 2011). The fruit is formed from solitary hermaphroditic flowers, with an accrescent calyx that, in the maturity of the fruit, reaches a length of 4 to 5 cm, known in Colombia as the *capacho*, which encloses and protects the fruit from several environmental conditions (pests, rain and cold) (Fischer and Lüdders, 1997; Nocetti *et al.*, 2020). Nevertheless, the calyx is susceptible to infection from several phytopathogens, such as *Cladosporium* sp., *Cercospora* sp., *Sclerotinia* sp., and *Botrytis cinerea*, the latter being the main limitation in production and postharvest (Forero, 2014). *B. cinerea* is the causal agent of gray mold, a cosmopolitan fungus that appears naturally in crops, affecting more than 250 plant species of agricultural interest. It is considered the second most limiting phytopathogen in agricultural production in the world, given its ability to environmental adaptation in the world, the costs related to its management, and the speed with which it can develop resistance to the fungicides used for their control (Dean *et al.*, 2012; Hahn, 2014; Carisse, 2016; Wenyong *et al.*, 2021).

Under field conditions, *B. cinerea* infects the calyx, causing disease if the environmental conditions are optimal (relative humidity  $\geq 80\%$  and temperatures between 12 and 22 °C). However, if they are not favorable, the pathogen remains

sus propiedades antioxidantes (Puente *et al.*, 2011). El fruto se forma a partir de flores solitarias hermafroditas, con un cáliz acrescente que en la madurez de la fruta alcanza de 4 a 5 cm de largo, y que en Colombia es conocido como *capacho*, el cual encierra y protege al fruto de diversas condiciones medioambientales (plagas, lluvia, granizo y frío) (Fischer y Lüdders, 1997; Nocetti *et al.*, 2020). No obstante, el cáliz es susceptible a la infección de diversos fitopatógenos como *Cladosporium* sp., *Cercospora* sp., *Sclerotinia* sp. y *Botrytis cinerea*. Este último, es el principal limitante en la producción y postcosecha (Forero, 2014). *B. cinerea* es el agente causal del moho gris, hongo cosmopolita que se presenta de forma natural en los cultivos, afectando a más de 250 especies vegetales de interés agrícola, y es considerado como el segundo fitopatógeno más limitante en la producción agrícola en el mundo, dada su capacidad de adaptación ambiental, a los costos asociados a su manejo y a la rapidez con la que puede desarrollar resistencia a los fungicidas utilizados para su control (Dean *et al.*, 2012; Hahn, 2014; Carisse, 2016; Wenyong *et al.*, 2021).

En condiciones de campo, *B. cinerea* infecta el cáliz provocando la enfermedad si las condiciones ambientales son óptimas (humedad relativa  $\geq 80\%$  y temperaturas entre 12 a 22 °C); sin embargo, si estas no son favorables, el patógeno permanece quiescente, reactivando la infección de forma agresiva cuando se tiene condiciones favorables, lo que coincide con la senescencia del cáliz y maduración de la fruta, particularmente durante el transporte en su exportación (que puede durar entre 15 y 20 días). La mayoría de los frutos, aunque pueden estar infectados, son asintomáticos al momento de su cosecha, pero la expresión de la enfermedad se evidencia cuando el fruto está en su destino, provocando pérdidas superiores al 15% (Molina *et al.*, 2004; Prusky y Lichter, 2007; Prusky *et al.*, 2013; Forero, 2014).

quiescent. It aggressively reactivates the infection when favorable conditions coincide with calyx's senescence and the fruit's maturation, particularly during the transportation in its export (which may last between 15 and 20 days). Most fruits may be infected yet are asymptomatic when harvested, but the expression of the disease is shown when the fruit arrives at its destination, causing losses of more than 15% (Molina *et al.*, 2004; Prusky and Lichter, 2007; Prusky *et al.*, 2013; Forero, 2014).

The gray mold is usually controlled with chemical fungicides. However, the resistance, food safety, harmful effects on the environment and human health, as well as the sustainability of the crop, increasingly limit the use of these chemical products, since in order for the fruits to be exported, mainly to Europe, compliance with the GLOBAL G.A.P standard is required, which restricts the residual concentration of different active ingredients of pesticides to minimum levels (Rincón *et al.*, 2015). The above produces the need to evaluate and select environmentally friendly management alternatives such as biopesticides, plant extracts, or biological inoculations, which are allowed and promoted in different production systems in the United States and the European Union since they generally pose little to no threat to the environment and humans (Bautista *et al.*, 2018). Their use in the cape gooseberry crop helps reduce the quiescent *B. cinerea* infections and reduces losses produced during the postharvest of the fruit. The aim of this work was to determine the efficacy of the application in the field of biopesticides based on *Trichoderma koningiopsis* Th003 and *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316, a biological inoculant based on *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006, on a biostimulant (Kendal®) and an extract of *Swinglea glutinosa* (EcoSwing®) on the reduction of the quiescent *B. cinerea* infections, considering previous studies carried out on berry

El control del moho gris comúnmente se realiza mediante la aplicación de fungicidas químicos; sin embargo, la resistencia, inocuidad alimentaria, efectos nocivos sobre el ambiente y la salud humana, así como la sostenibilidad del cultivo limitan cada vez más el uso de estos productos químicos, ya que para su exportación particularmente a Europa, se debe cumplir con la norma GLOBAL G.A.P que restringe a niveles mínimos la concentración residual de diferentes principios activos de plaguicidas (Rincón *et al.*, 2015). Por lo anterior, surge la necesidad de evaluar y seleccionar alternativas de manejo amigables con el ambiente, como, bioplaguicidas, extractos vegetales o inoculantes biológicos, los cuales tienen un uso permitido y promovido en diferentes sistemas productivos en Estados Unidos y la Unión Europea, ya que generalmente representan poco o ningún riesgo al ambiente y humano (Bautista *et al.*, 2018) y cuyo uso en el cultivo de uchuva permita reducir las infecciones quiescentes de *B. cinerea* y disminuir las pérdidas producidas durante la postcosecha de la fruta. El objetivo de este trabajo fue determinar la eficacia de las aplicaciones en campo de bioplaguicidas a base de *Trichoderma koningiopsis* Th003 y *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316, un inoculante biológico a base de *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006, de un bioestimulante (Kendal®) y un extracto de *Swinglea glutinosa* (EcoSwing®) en la reducción de las infecciones quiescentes de *B. cinerea*, considerando estudios previos desarrollados en el cultivo de mora donde estos tratamientos mostraron eficacia de control del hongo de hasta el 60% (Zapata y Cotes, 2013, Hincapié *et al.*, 2017; Zapata y Beltrán, 2019).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Incidencia del moho gris en frutos.** A partir de

crops, in which these treatments displayed and efficacy in the control of the fungus of up to 60% (Zapata and Cotes, 2013, Hincapié *et al.*, 2017; Zapata and Beltrán, 2019).

## MATERIALS AND METHODS

**Incidence of gray mold on fruits.** From four commercial crops, one in the municipal area of Ubaté (locality La Patera), another in the municipal area of Sutatausa (locality Hato Viejo), and two in the municipal area of Granada (locality La Veintidós sector Alto and La Veintidós sector bajo), 100 asymptomatic cape gooseberry fruit samples were gathered, packed in paper bags, and transported in styrofoam coolers for their analysis in the AGROSAVIA Agricultural Microbiology Lab. The fruits were placed in wet chambers with a relative humidity of  $\geq 90\%$  (HR) in sealed plastic containers measuring 14.5 x 24 x 36.5 cm (each one on a 1.70-ounce plastic cup) and stored in a room at 22 °C for seven days and next, the incidence of gray mold was measured according to the characteristic signs of the disease.

**Evaluation of alternatives for management in the field.** The experiment was established on the field with 220 cape gooseberry plants of the variety Corpoica-Dorada (Sánchez *et al.*, 2016) in the locality La Veintidós sector alto of the municipal area of Granada, department of Cundinamarca, Colombia (1.800 masl). During the seedling stage, the cape gooseberry plants were inoculated with *B. amyloliquefaciens* Bs006 (the active component of the bioproduct Natibac® SC) by spraying the substrate at the moment of planting, as well as 7 and 21 days after planting. On the field, the bacteria were applied as a drench at the moment of transplanting, as well as 7 and 15 days after this

cuatro cultivos comerciales, uno en el municipio de Ubaté (vereda La Patera), otro en el municipio de Sutatausa (vereda Hato viejo) y dos en el municipio de Granada (vereda La Veintidós sector Alto y La Veintidós sector bajo), se colectaron de cada uno, muestras de 100 frutos de uchuva asintomáticos, se empacaron en bolsas de papel y se transportaron en neveras de icopor para su análisis en el Laboratorio de Microbiología Agrícola de AGROSAVIA. Los frutos se dispusieron en cámaras húmedas con una humedad relativa  $\geq 90\%$  (HR) en recipientes plásticos sellados de 14.5 x 24 x 36.5 cm (cada uno sobre una copa plástica de 1.70 onzas) y se almacenaron en un cuarto a 22 °C durante siete días, a continuación, se registró la incidencia del moho gris de acuerdo con los signos característicos de la enfermedad.

**Evaluación de alternativas de manejo en campo.** Se estableció el experimento en campo con 220 plantas de uchuva de la variedad Corpoica-Dorada (Sánchez *et al.*, 2016) en la vereda La Veintidós sector alto del municipio de Granada, departamento de Cundinamarca, Colombia (1.800 msnm). Durante la etapa de semillero, las plántulas de uchuva fueron inoculadas con *B. amyloliquefaciens* Bs006 (principio activo del bioproducto Natibac® SC), mediante la aspersión al sustrato al momento de la siembra, a los 7 y 21 días después de la siembra. En campo, la bacteria se aplicó en drench al momento del trasplante, 7 y 15 días después de este a una concentración de  $1 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>, como estrategia para promover el crecimiento de las plantas y aumentar su tolerancia al estrés biótico y abiótico (Beltrán-Acosta *et al.*, 2023). La fertilización química se realizó siguiendo un esquema establecido de acuerdo con el análisis químico del suelo. Los análisis postcosecha de la fruta se realizaron en el Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA.

process, at a concentration of  $1 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>, as a strategy to promote plant growth and increase their tolerance to biotic and abiotic stress (Beltrán-Acosta *et al.*, 2023). Chemical fertilization was carried out following a scheme established according to a chemical soil analysis. The postharvest analyses of the fruits were carried out in the Agricultural Microbiology Lab of the AGROSAVIA Tibaitatá Research Center.

When the cape gooseberry fruits began to form (approximately six months after planting), foliar applications of *T. koningiopsis* Th003 (Tricotec® WG), of the yeast *R. mucilaginosa* Lv316 (Nalev® WG) and *B. amyloliquefaciens* Bs006 (Natibac® SC) were carried out, as well as a treatment called Eco, consisting of three applications of a biostimulant containing oligosaccharides and glutathione (Kendal®) and three applications of *S. glutinosa* (EcoSwing®) extract was applied, as well as a chemical treatment that consisted of alternate applications, three of a fungicide based on Azoxystrobin - Difenoconazole and three of a fungicide based on Thiram - pyrimethanil (Table 1).

The experiment was established under a randomized complete block design with three repetitions, where the experimental unit (EU) consisted of two rows with five plants each (10 plants per EU) and 30 plants per treatment. A row of untreated plants separated each treatment. As a control, fruits were taken from a crop planted

Cuando se inició la formación de frutos de uchuva (aproximadamente 6 meses después de la siembra), se realizaron aplicaciones foliares de *T. koningiopsis* Th003 (Tricotec® WG), de la levadura *R. mucilaginosa* Lv316 (Nalev® WG) y *B. amyloliquefaciens* Bs006 (Natibac® SC); de un tratamiento denominado Eco correspondiente a tres aplicaciones de un bioestimulante que contiene oligosacarinas y glutatión (Kendal®) y tres del extracto de *S. glutinosa* (EcoSwing®) y de un tratamiento químico que correspondió a tres aplicaciones de un fungicida a base de Azoxistrobina - Difenoconazole y tres de un fungicida a base de Thiram - Pyrimethanil (Cuadro 1).

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la unidad experimental (UE) consistió en dos surcos de 5 plantas cada uno (10 plantas por UE) y un total de 30 plantas por tratamiento. Cada tratamiento se separó por un surco de plantas sin tratar. Como testigo se tomaron frutos de un cultivo sembrado simultáneamente en el mismo predio, pero en un área diferente, con la misma variedad y esquema de fertilización, pero sin aplicaciones de fungicidas para el control de enfermedades foliares. La variable evaluada fue la incidencia del moho gris.

Las aplicaciones se hicieron en la mañana mediante aspersión con bomba de espalda, realizando cinco aplicaciones con una frecuencia de 15 días. Después de la tercera aplicación, semanalmente se

**Table 1. Treatments evaluated for the control of gray mold (*Botrytis cinerea*) in the cape gooseberry crop. Cuadro 1. Tratamientos evaluados para el control del moho gris (*Botrytis cinerea*) en el cultivo de uchuva.**

Tratamiento	Dosis y concentración de aplicación
<i>T. koningiopsis</i> Th003 (Tricotec® WG)	1 g L <sup>-1</sup> / $1 \times 10^6$ conidios mL <sup>-1</sup>
<i>R. mucilaginosa</i> Lv316 (Nalev® WG)	2 g L <sup>-1</sup> / $1 \times 10^7$ células mL <sup>-1</sup>
<i>B. amyloliquefaciens</i> Bs006 (Natibac® SC)	50 mL L <sup>-1</sup> / $1 \times 10^8$ UFC mL <sup>-1</sup>
Eco (Kendal® / EcoSwing®)	1 mL L <sup>-1</sup> / 1.5 mL L <sup>-1</sup>
Químico (Azoxistrobina - Difenoconazole / Thiram - Pyrimethanil)	1.5 mL L <sup>-1</sup> / 2 mL L <sup>-1</sup>

simultaneously in the same plot, but in a different area, with the same variety and fertilization scheme, without using fungicides to control of foliar diseases. The variable evaluated was the incidence of gray mold.

The applications were carried out in the morning using a backpack sprayer with a total of five applications at a frequency of 15 days. After the third application, 30 ripe fruits were taken every week from each repetition per treatment; they were packed in paper bags and transported in styrofoam coolers for their analysis in the lab. Once there, 18 fruits with calyxes were taken from each repetition and placed in a wet chamber in the conditions described earlier for seven days. In addition, 15 fruits were taken from the plants, their calyxes were removed, and they were placed under the same conditions.

**Follow-up of the populations of antagonists in the phyllosphere.** After the first application of the treatments and before the following applications, ten leaves were taken randomly from each repetition (30 leaves per treatment). The leaves were stored in paper bags, labeled, and transported in a styrofoam cooler for their analysis in the lab. Once there, the leaves from each repetition were cut into pieces measuring 1 cm in diameter using a sterile stainless steel hole puncher, 10 g were taken from the plant material and placed in an Erlenmeyer with 90 mL of Tween 80 at 0.1% (mother suspension) leaving them to be stirred constantly at 150 rpm for one hour. Next, a 1 in 10 dilution was performed for each one, they were homogenized in a vortex stirrer, and 100  $\mu$ L were taken and placed in Petri dishes (three replicas per dilution) containing Rose Bengal Agar for *T. koningiopsis* Th003, malt extract agar for *R. mucilaginosa* Lv316 and Luria Bertani agar for *B. amyloliquefaciens* Bs006, respectively. The aliquot was homogeneously distributed with a stainless steel

tomaron 30 frutos maduros de cada repetición por tratamiento, se empacaron en bolsas de papel y fueron transportados en neveras de icopor para su análisis en el laboratorio. En este, de cada repetición se tomaron 18 frutos con cáliz ubicándolos en una cámara húmeda en las condiciones anteriormente mencionadas durante siete días, adicionalmente se tomaron 15 frutos a los que se les retiró el cáliz y se dispusieron en iguales condiciones.

**Seguimiento de las poblaciones de antagonistas en la filosfera.** Después de la primera aplicación de los tratamientos y previo a las siguientes aplicaciones se tomaron de forma aleatorizada 10 hojas por repetición (30 hojas por tratamiento). Las hojas se guardaron en bolsas de papel, se etiquetaron y transportaron en nevera de icopor para su análisis en el laboratorio. En este, las hojas de cada repetición se cortaron en trozos de 1 cm de diámetro utilizando un sacabocado de acero inoxidable estéril, se tomaron 10 g del material vegetal y se dispusieron en un Erlenmeyer con 90 mL de Tween 80 al 0.1% (suspensión madre) dejándolos en agitación constante a 150 rpm durante una hora. A continuación, de cada uno se realizó una dilución 1 en 10, se homogeneizaron en un agitador vórtex y se tomaron 100  $\mu$ L disponiéndolos en cajas Petri (tres replicas por dilución), que contenían agar rosa de bengala para *T. koningiopsis* Th003, agar extracto de malta para *R. mucilaginosa* Lv316 y agar Luria Bertani para *B. amyloliquefaciens* Bs006, respectivamente. La alícuota se distribuyó homogéneamente con un rastrillo Drigalsky de acero inoxidable. Las cajas se incubaron a 28 °C durante 48 horas para la bacteria y a 25 °C para la levadura y el hongo durante 48 horas y 5 días respectivamente; pasado este tiempo se realizó el recuento de unidades formadoras de colonia (UFC) y los resultados fueron reportados como UFC/g de foliolo [expresado como Log (UFC/g)].

Drigalsky spatula. The dishes were incubated at 28 °C for 48 for the bacteria and 25 °C for the yeast and fungus for 48 hours and 5 days, respectively. After this time, the culture forming units (CFUs) were counted, and the result was reported as CFU/g of leaflet [expressed as Log (UFC/g)].

**Data analysis.** For every treatment, the healthy fruits were added up along with those that displayed signs and symptoms of gray mold, and the percentage of incidence was determined using the following formula: Percentage of incidence = (Fruits with gray mold / Total fruits) \* 100. The data were analyzed with an analysis of variance and a means comparison using Fisher's LSD test (\*= P>0.05) using the statistical software Statistix® 10.0. The efficacy in the control of the disease was estimated using Abbott's formula: Percentage of efficacy = ((Cd - Td) / Cd) \* 100. Where: Cd = Incidence in the control treatment and Td= Incidence per treatment (ANDI y ICA, 2015).

## RESULTS AND DISCUSSION

**Incidence of the gray mold on fruits from quiescent *B. cinerea* infections in commercial crops.** The calyx of the cape gooseberry encloses and protects the fruit from the environment (Fischer and Lüdders, 1997; Nocetti *et al.*, 2020). However, this exposure makes it susceptible to quiescent *B. cinerea* infections, and its senescence during the maturation of the fruit and a favorable environment during postharvest activate these infections and develop the disease (Figure 1). This condition was observed in this study, where the incidence of the gray mold from the quiescent *B. cinerea* infections in the fruits gathered surpassed 88% and even reached 100% in the crop of the locality La Veintidós sector bajo (Figures 2 and 3), showing

**Análisis de datos.** Por tratamiento se totalizaron los frutos sanos y que presentaban signos y síntomas del moho gris, y se determinó el porcentaje de incidencia utilizando la siguiente fórmula: Porcentaje de incidencia = (Frutos con moho gris / Frutos totales) \* 100. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba LSD de Fisher (\*= P>0.05) empleando el software estadístico Statistix® 10.0. La eficacia en el control de la enfermedad se calculó empleando la fórmula de Abbott: Porcentaje de eficacia= ((Cd - Td) / Cd) \* 100. Donde: Cd = Incidencia en el tratamiento control y Td= Incidencia por tratamiento (ANDI y ICA, 2015).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Incidencia del moho gris en frutos a partir de infecciones quiescentes de *B. cinerea* en cultivos comerciales.** El cáliz en la uchuva encierra y protege el fruto del ambiente (Fischer y Lüdders, 1997; Nocetti *et al.*, 2020), sin embargo, esta exposición lo hace susceptible a las infecciones quiescentes de *B. cinerea*, además su senescencia durante la maduración del fruto y un ambiente favorable durante la postcosecha, hacen que estas infecciones se activen y desarrollen la enfermedad (Figura 1). Esta condición se observó en este estudio, donde la incidencia del moho gris a partir de las infecciones quiescentes de *B. cinerea* en los frutos colectados superó el 88% alcanzando hasta el 100% en el cultivo de la vereda La Veintidós sector bajo (Figura 2 y 3), demostrando que el 80% de la fruta cosechada y con potencial destino de exportación puede estar infectada por *B. cinerea*.

Aunque para uchuva aún no se cuentan con estudios epidemiológicos que permitan establecer un modelo de infección para *B. cinerea*, se ha demostrado en otros sistemas productivos donde el





**Figure 1.** Top, healthy cape gooseberry (*Physalis peruviana*) fruits. Below, fruits with signs of gray mold (*Botrytis cinerea*) in the field, showing the presence of the mycelia and conidia of *Botrytis cinerea* with a grayish tone on the calyx and the berry inside.

**Figura 1.** Superior, frutos sanos de uchuva (*Physalis peruviana*). Inferior, frutos con signos de moho gris (*Botrytis cinerea*) en campo, observando la presencia del micelio y conidios de *Botrytis cinerea* con una tonalidad grisácea sobre el cáliz y la baya en su interior.

that 80% of the fruit harvested and with an export potential can be infected with *B. cinerea*.

Despite the lack of epidemiological studies that help establish an infection model for *B. cinerea* in cape gooseberry, the importance of quiescent infections has been proven in the losses the disease can cause in postharvest in other production systems in which the gray mold is one of the main limitations in their production. For example, investigations carried out on berries (*Rubus* sp.) have shown that this pathogen produces quiescent infections in all the physiological stages of the development of the fruit, leading to an incidence

moho gris es una de las principales limitantes en su producción, la importancia de las infecciones quiescentes en las pérdidas que la enfermedad puede provocar en la postcosecha. Por ejemplo, investigaciones desarrolladas en mora (*Rubus* sp.), han demostrado que este patógeno produce infecciones quiescentes en todos los estados fisiológicos de desarrollo de fruto, provocando en frutos maduros una incidencia del moho gris de entre el 60 y el 80% (Molina *et al.*, 2004); de la misma forma que Petrasch *et al.* (2019) y Rivera *et al.* (2013) lo han descrito en fresa (*Fragaria* sp.) y arándano (*Vaccinium corymbosum*), respectivamente.

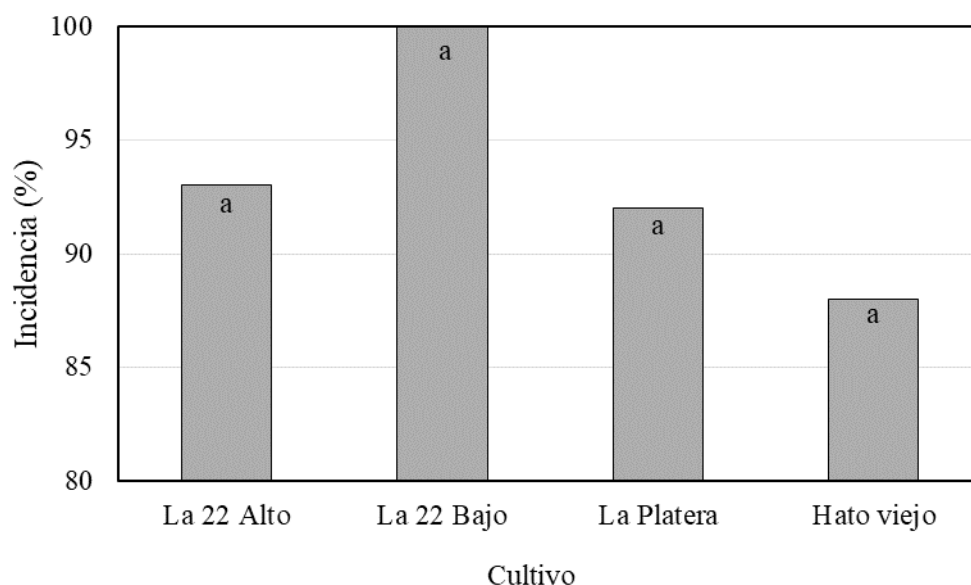


Figure 2. Incidence of gray mold (*Botrytis cinerea*) in cape gooseberry harvested in crops found in three municipal areas of Cundinamarca. Columns with the same letter are not significantly different, according to Fisher's LSD test (\*= $P>0.05$ ).

Figura 2. Incidencia del moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de uchuva cosechados en cultivos de tres municipios de Cundinamarca. Columnas con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Fisher LSD (\*= $P>0.05$ ).



Figure 3. Cape gooseberry fruits with signs of gray mold (*Botrytis cinerea*) after their storage in wet chambers.

Figura 3. Frutos de uchuva con signos de moho gris (*Botrytis cinerea*) después de su almacenamiento en cámaras húmedas.

of gray mold in mature fruits of 60 to 80% (Molina *et al.*, 2004), in the same way as Petrasch *et al.* (2019) and Rivera *et al.* (2013) have described for strawberries (*Fragaria sp.*) and cranberries (*Vaccinium corymbosum*), respectively.

#### Evaluación de alternativas de control en campo.

Para las dos primeras cosechas se observó la mayor incidencia del moho gris con valores de entre 60 y el 84% (Figura 4), este período de tiempo se caracterizó por precipitaciones con un promedio de 194 mm/día, que pudieron favorecer la incidencia

**Evaluation of alternatives for control in the field.**

The highest gray mold incidence was observed for the first two crops, with values between 60 and 84% (Figure 4). This period was characterized by precipitations with an average of 194 mm/day, which could favor the incidence of the disease. However, once this weather condition passed, and except for the control, which displayed a mean incidence of 83% throughout the evaluation period, the incidence in the treatments decreased, with the applications of Tricotec® WG and Nalev® WG standing out due to their mean incidences of 48 and 51%, respectively.

Nevertheless, the chemical treatment that displayed a mean incidence of 55% displayed the lowest incidence towards the end of the evaluation period, with 10% (Figure 4), coinciding with the applications of the Thiram – Pyrimethanil-

de la enfermedad; no obstante, pasada esta condición ambiental y a excepción del control que durante todo el período de evaluación presentó una incidencia media del 83%, la incidencia en los tratamientos disminuyó, destacando las aplicaciones de Tricotec® WG y Nalev® WG con una incidencia media del 48 y 51%, respectivamente.

No obstante, el tratamiento químico que presentó una incidencia media del 55% mostró hacia el final del periodo de evaluación la menor incidencia con un 10% (Figura 4), coincidiendo con las aplicaciones del fungicida a base de Thiram - Pyrimethanil, botricida que en Colombia no presenta un uso frecuente en uchuva (a diferencia de Azoxistrobina - Difenconazole), pero si en cultivos de rosa (*Rosa* sp.). Es probable que la baja exposición al fungicida, las poblaciones de *B. cinerea* en el cultivo de uchuva no presentaran resistencia; no

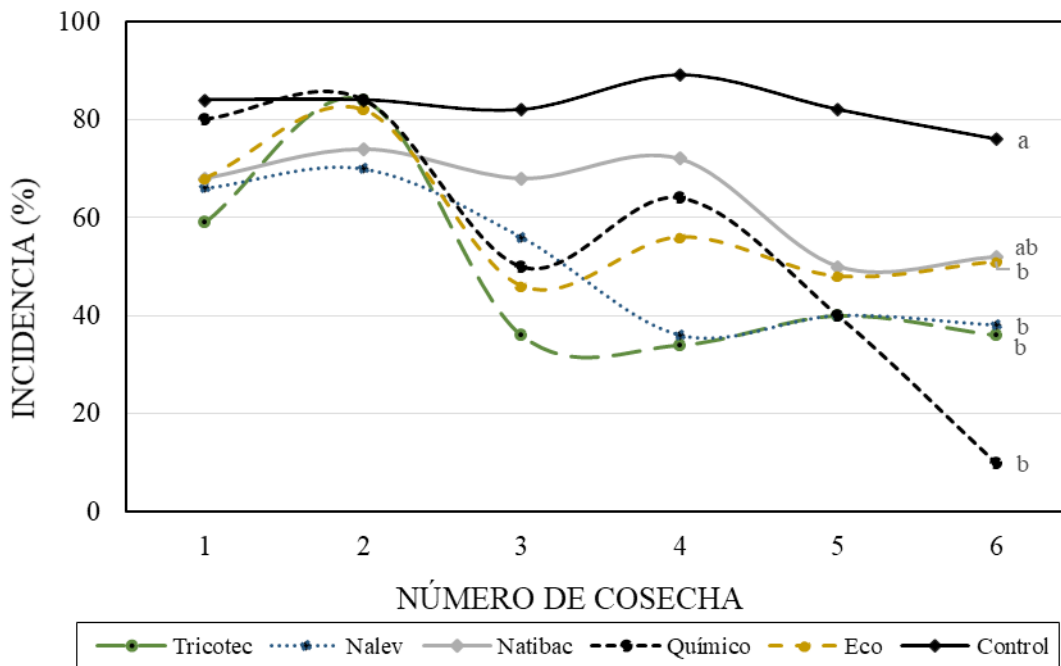


Figure 4. Weekly gray mold (*Botrytis cinerea*) incidence in the fruit harvested by treatment. Lines with the same line are not significantly different, according to Fisher’s LSD test (\*= P>0.05).

Figura 4. Incidencia semanal del moho gris (*Botrytis cinerea*) en la fruta cosechada por tratamiento. Líneas con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Fisher LSD (\*= P>0.05).

based fungicide, a botrycide that in Colombia is not frequently used in cape gooseberry (unlike Azoxystrobin - Difenconazole), although it is used in rose (*Rosa* sp.) crops. It is probable that due to the low exposure to the fungicide, the populations of *B. cinerea* in the cape gooseberry crop did not yet show resistance; however, in order to confirm this, studies are required to help determine the resistance of *B. cinerea* populations in crops in different locations to this and other fungicides.

The efficacy of the control of the gray mold was established, depending on the reduction of the incidence, noticing that all treatments presented some level of control; however, with the applications of *T. koningiopsis* Th003 and *R. mucilaginosa* Lv316, efficacies of 42 and 39% were obtained, respectively, making these the most prominent treatments (Figure 5).

Similar results in the control of *B. cinerea* have been reported for the berry crop, in which

obstante, para confirmarlo, es necesario desarrollar estudios que permitan determinar la resistencia de poblaciones de *B. cinerea* en cultivos de diferentes localidades a este y otros fungicidas.

De acuerdo con la reducción en la incidencia, se estableció la eficacia en el control del moho gris, observando que todos los tratamientos presentaron algún nivel de control; sin embargo, con las aplicaciones de *T. koningiopsis* Th003 y *R. mucilaginosa* Lv316 se obtuvieron eficacias del 42 y 39% respectivamente, siendo los tratamientos más destacados (Figura 5).

Resultados similares en el control de *B. cinerea* se han reportado en el cultivo de mora, donde al aplicar estos mismos bioplaguicidas y bajo un esquema similar de aplicación, se obtuvo una eficacia en el control del 60%, superior al obtenido con las aplicaciones de Procloraz (58%) o Carben-dazim (27%) (Zapata y Cotes, 2013). Con respecto al control de *B. cinerea* por *T. koningiopsis* y *R.*

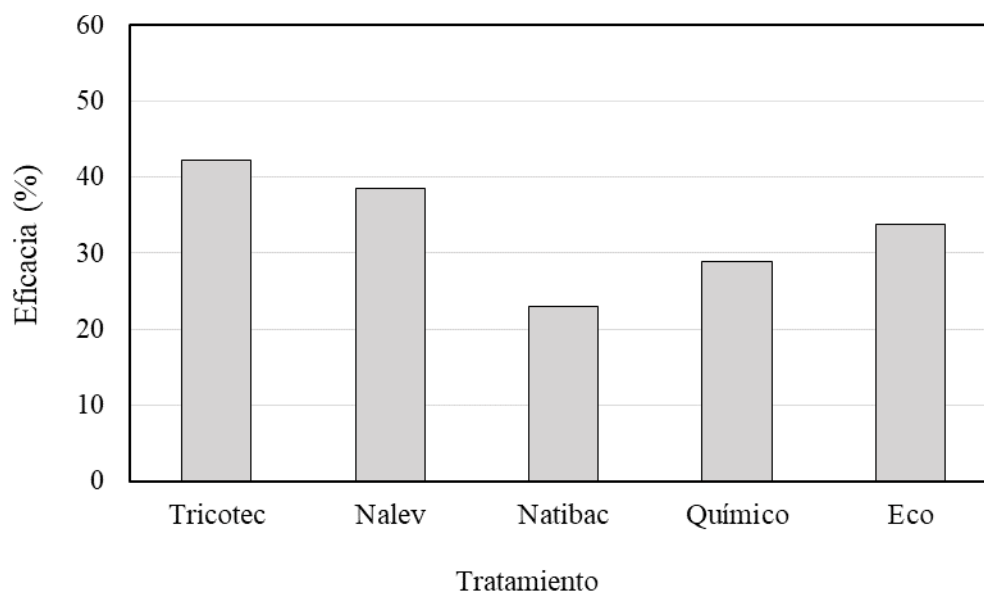


Figure 5. Efficacy of the treatments in the control of gray mold (*Botrytis cinerea*) in cape gooseberry fruits after 75 days of evaluation in the field.

Figura 5. Eficacia de los tratamientos en el control del moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de uchuva después de 75 días de evaluación en campo.

the application of the same biopesticides under a similar application scheme gave a control efficacy of 60%, higher than that obtained with the applications of Prochloraz (58%) or Carbendazim (27%) (Zapata and Cotes, 2013). Regarding the control of *B. cinerea* with *T. koningiopsis* and *R. mucilaginosa*, it is necessary to consider that this pathogen is susceptible to the lack of nutrients since it limits the germination of conidia, the formation of the germinal tube and infections (Elad, 1996). Therefore, the application of these antagonists, with action modes such as the competition for space and nutrients, mycoparasitism, and antibiosis, was able to reduce the infection of the pathogen in the calyx (Freimoser *et al.*, 2019; Moreno-Velandia *et al.*, 2020).

On the other hand, the application of the Kendal® rotation and the extract of *S. glutinosa* with an efficiency of 34% (Figure 5) proves to be an alternative worth considering in the management of the disease. An example of this was the 65% reduction of the incidence of gray mold obtained with its applications alternated with Tricotec® WG in the berry crop (Zapata and Beltrán, 2019) or in the control of downy mildew in berries in rotation with biopesticides based on *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis*, an extract of citrus seeds and copper-based fungicides (Boyzo-Marín *et al.*, 2015).

The oligosaccharins and glutathione found in Kendal® are considered biostimulating molecules that act as elicitors associated with the stimulation of defense response in plants (Guevara *et al.*, 2010; Garcia-Brugger *et al.*, 2006), whereas the *S. glutinosa* extract contains  $\alpha$ -pinene and  $\beta$ -pinene, compounds with inhibiting action on the germination of conidia and mycelial growth (Camargo-Piñeres *et al.*, 2021). The combination of these mechanisms assists in the control of the pathogen in the plants treated.

*mucilaginosa*, es necesario considerar que este patógeno es susceptible a la ausencia de nutrientes, factor que limita la germinación de conidios, formación del tubo germinal e infección (Elad, 1996), por tanto, la aplicación de estos antagonistas, con modos de acción como competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo y antibiosis, pudieron reducir la infección del patógeno en el cáliz (Freimoser *et al.*, 2019; Moreno-Velandia *et al.*, 2020).

De otra parte, las aplicaciones de la rotación de Kendal® y el extracto de *S. glutinosa* con una eficacia del 34% (Figura 5) demuestra ser una alternativa a considerar en el manejo de la enfermedad, un ejemplo de esto fue la reducción del 65% en la incidencia del moho gris obtenida mediante sus aplicaciones alternadas con Tricotec® WG en el cultivo de mora (Zapata y Beltrán, 2019) o en el control del mildiu veloso en mora en rotación con bioplaguicidas a base de *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*, un extracto de semillas de cítricos y fungicidas a base de cobre (Boyzo-Marín *et al.*, 2015).

Las oligosacarinas y glutatión presentes en Kendal® son considerados como moléculas bioestimulantes que actúan como elicitores asociados con la estimulación de respuestas de defensa en las plantas (Guevara *et al.*, 2010; Garcia-Brugger *et al.*, 2006), mientras que el extracto de *S. glutinosa* contiene  $\alpha$ -pineno y  $\beta$ -pineno, compuestos que tienen acción inhibitoria sobre la germinación de los conidios y el crecimiento micelial (Camargo-Piñeres *et al.*, 2021). Esta combinación de estos mecanismos coadyuva para el control del patógeno en las plantas tratadas.

Por otro lado, con las aplicaciones de los fungicidas (tratamiento químico) se obtuvo una eficacia del 29% (Figura 5) y considerando que con las aplicaciones de Thiram - Pyrimethanil se observó menor incidencia al final del bioensayo, es necesario integrar en futuros estudios la rotación

On the other hand, the applications of the fungicides (chemical treatment) gave an efficacy of 29% (Figure 5), and considering that a lower incidence was observed at the end of the biotest with the applications of Thiram - Pyrimethanil, a rotation of products must be integrated into future studies in order to implement management strategies for the gray mold. It is convenient to evaluate the integration of the alternatives evaluated in this paper, applying them according to the weather conditions to obtain a better result and contribute to reducing the risk of fungicide-resistant *B. cinerea* populations.

In contrast, when removing the calyx from the fruit before storing, the incidence of gray mold did not surpass 2% (Figure 6), which leads us to assume that the quiescent *B. cinerea* infection is mainly produced in the calyx and from there, the pathogen is passed on to the fruit, or a microclimate

de productos, con el objetivo de implementar estrategias de manejo del moho gris. Es conveniente evaluar la integración de las alternativas evaluadas en este trabajo, aplicándolas de acuerdo con las condiciones ambientales para obtener de ellas un mejor resultado y contribuir a reducir el riesgo de poblaciones resistentes de *B. cinerea* a fungicidas.

Por otra parte, al retirar el cáliz del fruto previo a su almacenamiento, la incidencia del moho gris no superó el 2% (Figura 6), lo que permite suponer que las infecciones quiescentes de *B. cinerea* en su mayor proporción se producen en el cáliz y de este el patógeno pasa al fruto, o bien se genera un microclima favorable para el hongo; a diferencia de las infecciones en mora o fresa, donde las infecciones quiescentes se producen en estructuras florales como los estambres, carpelos o el receptáculo floral (Molina *et al.*, 2004; Petrasch *et al.*, 2019). De acuerdo con esto, se podría retirar el cáliz de la fruta

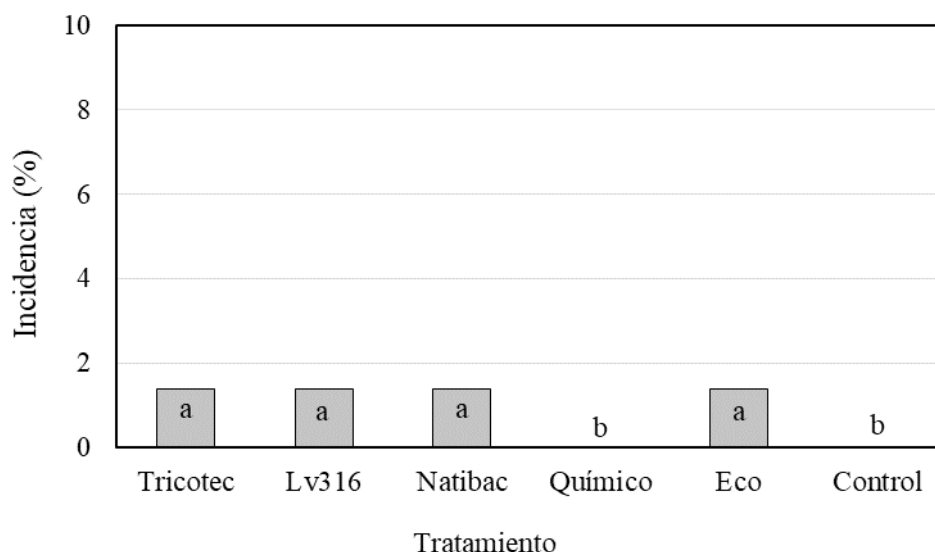


Figure 6. Accumulated incidence after 75 days of evaluation for gray mold (*Botrytis cinerea*) by treatment in cape gooseberry fruits without a calyx. Columns with the same letter are not significantly different, according to Fisher's LSD test (\*=  $P > 0.05$ ).

Figura 6. Incidencia acumulada después de 75 días de evaluación para el moho gris (*Botrytis cinerea*) por tratamiento en frutos de uchuva sin cáliz. Columnas con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Fisher LSD (\*=  $P > 0.05$ ).

is produced that is favorable for the fungus; unlike the infections in berries and strawberries, where the quiescent infections are produced in floral structures such as the stamen, carpel or the floral receptacle (Molina *et al.*, 2004; Petrasch *et al.*, 2019). According to this, the calyx could be removed from the fruit to reduce the risk of quiescent infections, although one of the market conditions, particularly in Europe, is the presence of the calyx on the fruit, making this alternative unviable.

**Follow-up of the populations of antagonists in the phyllosphere.** The phyllosphere is a hostile habitat for microorganisms: the low availability of nutrients, extreme temperatures, and solar radiation intensity make establishing antagonists difficult. Due to this, an inherent condition in an antagonist applied to the phyllosphere is its ability to adapt, colonize and remain in it since; otherwise, it will not carry out the control activity it was chosen to do (Andrews, 1992; Andrews and Harris, 2000). This study noticed that the antagonists colonized the cape gooseberry phyllosphere since their populations remained constant during the evaluation period, obtaining  $1 \times 10^3$  UFC  $g^{-1}$  for *T. koningiopsis* Th003 per sampling, while *R. mucilaginosa* Lv316 y *B. amyloliquefaciens* Bs006 were obtained  $1 \times 10^5$  UFC  $g^{-1}$  (Figure 7).

Similar reports have been provided by authors such as Sylla and collaborators (2013), who applied biopesticides based on *Trichoderma harzianum* and *B. amyloliquefaciens* weekly for the control of *B. cinerea* in strawberries and obtained recounts of the phyllosphere of  $1 \times 10^2$  UFC  $g^{-1}$  for the fungus and  $2 \times 10^4$  UFC  $g^{-1}$  for the bacteria. Meanwhile, Elad and collaborators (1994) applied the yeasts *Rhodotorula glutinis* and *Cryptococcus albidus* for the control of *B. cinerea* in tomato and recovered, from the phyllosphere, populations of  $8 \times 10^3$  UFC  $cm^{-2}$ .

para reducir el riesgo de infecciones quiescentes; sin embargo, una de las condiciones del mercado y particularmente en Europa es la presencia del cáliz en fruto, por lo cual, no se considera viable dicha alternativa.

**Seguimiento de las poblaciones de antagonistas en la filósfera.** La filósfera es un hábitat hostil para los microorganismos, la baja disponibilidad de nutrientes, temperaturas extremas e intensidad de la radiación solar son condiciones que dificultan el establecimiento de los antagonistas, por esto una condición inherente en un antagonista aplicado a la filósfera es su capacidad para adaptarse, colonizarla y permanecer en ella, ya que de otra forma no efectuará la actividad de control por la que fue seleccionado (Andrews, 1992; Andrews y Harris, 2000). En este estudio se observó que los antagonistas colonizaron la filósfera de uchuva, ya que sus poblaciones permanecieron constantes durante el período de evaluación, obteniendo  $1 \times 10^3$  UFC  $g^{-1}$  para *T. koningiopsis* Th003 por muestreo, mientras que para *R. mucilaginosa* Lv316 y *B. amyloliquefaciens* Bs006 se obtuvieron  $1 \times 10^5$  UFC  $g^{-1}$  (Figura 7).

Resultados similares han sido reportados por autores como Sylla y colaboradores (2013), quienes al aplicar semanalmente bioplaguicidas a base de *Trichoderma harzianum* y *B. amyloliquefaciens* para el control de *B. cinerea* en fresa, obtuvieron recuentos de la filósfera de  $1 \times 10^2$  UFC  $g^{-1}$  para el hongo y de  $2 \times 10^4$  UFC  $g^{-1}$  para la bacteria; mientras que Elad y colaboradores (1994) al aplicar las levaduras *Rhodotorula glutinis* y *Cryptococcus albidus* para el control de *B. cinerea* en jitomate recuperaron de la filósfera poblaciones de  $8 \times 10^3$  UFC  $cm^{-2}$ .

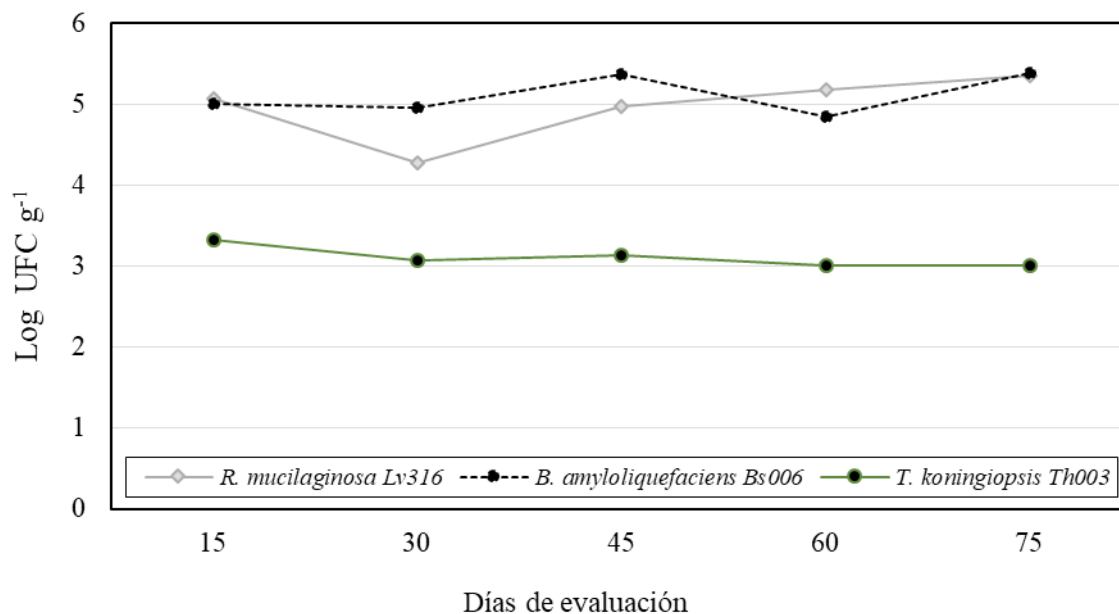


Figure 7. Follow-up of the population of antagonists applied on cape gooseberry plants during the evaluation period (October 7 to December 12, 2022).

Figura 7. Seguimiento de la población de antagonistas aplicados en plantas de uchuva durante el periodo de evaluación (del 7 de octubre al 21 de diciembre del 2022).

## CONCLUSIONS

Applying biopesticides based on *T. koningiopsis* Th003 and *R. mucilaginosa* Lv316 on the field gave an efficacy in the reduction of quiescent *B. cinerea* infections of 42 and 39% respectively, in comparison with the 29% obtained with the alternated applications of Azoxistrobina - Difenconazole and Thiram – Pyrimethanil-based fungicides. These results pose the integration of biopesticides as viable and efficient in the integrated management strategies for the crop, thus contributing to reducing the number of fungicide applications in the field.

## CONCLUSIONES

Con la aplicación en campo de bioplaguicidas a base *T. koningiopsis* Th003 y *R. mucilaginosa* Lv316, se obtuvo una eficacia en la reducción de las infecciones quiescentes de *B. cinerea* del 42 y 39% respectivamente, comparado con el 29% obtenido con las aplicaciones alternadas de los fungicidas a base de Azoxistrobina - Difenconazole y Thiram – Pyrimethanil. Estos resultados plantean como una opción viable y eficiente la integración de los bioplaguicidas en estrategias de manejo integrado del cultivo, contribuyendo así a reducir el número de aplicaciones de fungicidas en campo.



## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Colombia's General Royalties System (Sistema General de Regalías - SGR) and the Colombian Farming Research Corporation (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA) for the funds for the project “Development, transfer of technology and knowledge for the innovation to reduce the low competitiveness of cape gooseberry derived from the Covid-19 emergency by reducing vascular wilting in Ubaté and Granada, Cundinamarca” (Desarrollo, transferencia de tecnología y conocimiento para la innovación que reduzca la baja competitividad de uchuva derivada de la emergencia por el Covid-19, mediante la disminución del marchitamiento vascular en Ubaté y Granada, Cundinamarca) which helped develop this paper, as well as Blanca Lucia Botina Azain for her support in setting up the biotests in the lab.

## LITERATURE CITED

- AGRONET. 2022. Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. Uchuva. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1> (Consulta enero, 2023).
- Andrews JH. 1992. Biological control in the phyllosphere. *Annual Review of Phytopathology* 30: 603- 635. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.30.090192.003131>
- Andrews JH and Harris RF. 2000. The ecology and biogeography of microorganisms on plant surfaces. *Annual Review of Phytopathology* 38: 145-180. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.38.1.145>
- Asociación Nacional de Comercio Exterior - ANALDEX. 2022. Informe exportaciones de uchuva julio 2022. <https://www.analdex.org/2022/09/19/informe-exportaciones-de-uchuva-julio-2022/> (Consulta enero, 2023).
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia – ANDI and Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. 2015. Manual para elaboración de protocolos para ensayos de eficacia con PQUA. ICA. 110 p. <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/regulacion-y-control-de-plaguicidas-quimicos/manual-protocolos-ensayos-eficacia-pqua-1.aspx>
- Bautista EJ, Mesa L and Gómez MI. (2018). Alternativas de producción de bioplaguicidas microbianos a base de hongos: el caso de América Latina y El Caribe. *Scientia Agropecuaria* 9(4): 585-604. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.15>

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sistema General de Regalías (SGR) de Colombia y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA por la financiación del proyecto “Desarrollo, transferencia de tecnología y conocimiento para la innovación que reduzca la baja competitividad de uchuva derivada de la emergencia por el Covid-19, mediante la disminución del marchitamiento vascular en Ubaté y Granada, Cundinamarca.” que permitió el desarrollo de este trabajo y a Blanca Lucia Botina Azain por su apoyo en el montaje de los bioensayos en laboratorio.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Beltrán-Acosta CR, Zapata-Narváez YA, Millán-Montaño DA and Díaz-García A. 2023. Effect of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Pseudomonas migulae* on the growth of gooseberry (*Physalis peruviana* L.) seedlings: Rizobacterias promotoras en plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Mesoamericana* 34(1): 50669. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50669>
- Boyzo-Marín J, Silva-Rojas H and Rebollar-Alviter A. 2015. Biorational treatments to manage dry berry of blackberry caused by *Peronospora sparsa*. *Crop Protection* 76: 121 – 126. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.023>
- Carisse O. 2016. Epidemiology and Aerobiology of *Botrytis* spp. *In: Fillinger S and Elad Y. (Ed.) Botrytis – the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems* Springer International Publishing p 127-148. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23371-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23371-0_7)
- Camargo-Piñeres Y, Zambrano-Montenegro G, Ortega-Cuadros M, Gutierrez-Montero D and Yepes-Escorcía J. 2021. Actividad antifúngica in vitro del aceite esencial de *Swinglea glutinosa* Merr sobre *Colletotrichum* sp., patógeno de mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Colombiana De Biotecnología* 23(1):62-71. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n1.88025>
- Dean R, Van Kan JA, Pretorius ZA, Hammond-Kosack KE, Di Pietro A, Spanu PD, Rudd JJ, Dickman M, Kahmann R, Ellis J and Foster GD. 2012. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Mol Plant Pathol* 13(4): 414-30. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>

- Elad Y, Köhl J and Fokkema NJ. 1994. Control of infection and sporulation of *Botrytis cinerea* on bean and tomato by saprophytic yeasts. *Phytopathology* 84(10): 1193-1200. <https://doi.org/10.1007/BF01876443>
- Elad Y. 1996. Mechanisms involved in biological control of *Botrytis cinerea* incited diseases. *European Journal of Plant Pathology* 102(8):719-732. <https://doi.org/10.1007/BF01877146>
- Fischer G and Lüdders P. 1997. Developmental changes of carbohydrates in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits in relation to the calyx and the leaves. *Agronomía Colombiana* 14(2): 95-107. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21475>
- Forero MC. 2014. Enfermedades de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). In: Carvalho, C.P. and D.A. Moreno (eds.). *Physalis peruviana: fruta andina para el mundo*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED, Limencop SL, Alicante, Spain. <https://www.vidarium.org/wp-content/uploads/2021/07/Uchiva-Physalis-peruviana-L-Fruta-andina-para-el-mundo.pdf>
- Freimoser FM, Rueda-Mejía MP, Tilocca B and Migheli Q. 2019. Biocontrol yeasts: mechanisms and applications. *World J Microbiol Biotechnol.* 10(154): 2-19. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2728-4>
- García-Brugger A, Lamotte O, Vandelle E, Bourque S, Lecourieux D, Poinssot B, Wendehenne D and Pugin A. 2006. Early signaling events induced by elicitors of plant defenses. *Molecular Plant Microbe Interactions* 19(7): 711-724. <http://dx.doi.org/10.1094/MPMI-19-0711>
- Guevara E, Hernández E, Arispuro I and Téllez M. 2010. Oligosacarininas derivadas de pared celular: Actividad biológica y participación en la respuesta de defensa de plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología* 28(2): 144-155. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-33092010000200007&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092010000200007&lng=es)
- Hahn M. 2014. The rising threat of fungicide resistance in plant pathogenic fungi: *Botrytis* as a case study. *Journal Chemical Biological* 7(4):133-141. <https://doi.org/10.1007/s12154-014-0113-1>
- Hincapié O, Saldarriaga A and Díaz C. 2017. Biological, botanical and chemical alternatives for the control of blackberry (*Rubus glaucus*, Benth.) diseases. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 70(2): 8169-8176. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/65987>
- Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. 2022. Colombia es el mayor productor y exportador de uchuva a nivel mundial. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-colombia-mayor-productor-exportador-uchuva> (Consulta enero, 2023).
- Molina S, De La Rotta M and Torres E. 2004. Incidencia de infecciones quiescentes de *Botrytis cinerea* en flores y frutos de mora de castilla (*Rubus glaucus*, Benth.). *Agronomía Colombiana* 22(2): 101-109. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180318264002.pdf>
- Moreno-Velandia CA, Izquierdo-García LF, Zapata-Narváez YA, Beltrán-Acosta CR and Zuluaga-Mogollón MV. 2020. Tricotec® WG Biofungicida. Recomendaciones de uso y patógenos blanco. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. 48 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36526>
- Nocetti D, Núñez H, Puente L, Espinosa A and Romero F. 2020. Composition and biological effects of goldenberry byproducts: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(12): 4335-4346. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10386>
- Petrusch S, Knapp SJ, van Kan J and Barbara BU. 2019. Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by the ubiquitous necrotrophic fungal pathogen *Botrytis cinerea*. *Molecular Plant Pathology* 20(6): 877-892. <https://doi.org/10.1111/mpp.12794>
- Prusky D and Lichter A. 2007. Activation of quiescent infections by postharvest pathogens during transition from the biotrophic to the necrotrophic stage. *FEMS Microbiology Letters* 268(1): 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2006.00603.x>
- Prusky D, Alkan N, Mengiste T and Fluhr R. 2013. Quiescent and necrotrophic lifestyle choice during postharvest disease development. *Annual Review of Phytopathology* 51(1): 155-176. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102349>
- Puente LA, Pinto-Muñoz SA Castro ES and Cortés M. 2011. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Res. Int.* 44: 1733-1740. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>
- Rincón NS, Figueredo CA and Salazar N. 2015. Impact of the application of the GLOBAL GAP norm, in the Latin American Agro-food sector. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales* 2(1): 83-98. <https://doi.org/10.23850/24220582.173>
- Rivera S, Zoffoli JP and Latorre BA. 2013. Infection risk and critical period for the postharvest control of gray mold (*Botrytis cinerea*) on blueberry in Chile. *Plant Disease* 97(8):1069-1074. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-12-1112-RE>
- Sánchez E, Mayorga F, Navas A, Gómez L and Núñez V. 2016. Corpoica Dorada: variedad de uchuva para Boyacá, Cundinamarca y Antioquia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. 12 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/11565>
- Sylla J, Alsanian BW, Krüger E, Reineke A, Strohmeier S, Wohanka W. 2013. Leaf microbiota of strawberries as affected by biological control agents. *Phytopathology* 103(10): 1001-1011. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-13-0014-R>
- Wenyong S, Youfu Z and Zhonghua M. 2021. Advances in Understanding Fungicide Resistance in *Botrytis cinerea* in China. *Phytopathology* 111(3): 455-463. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-20-0313-IA>

Zapata J and Cotes AM. 2013. Eficacia de dos prototipos de bioplaguicida a base de *Rhodotorula glutinis* cepa LvCo7 y un bioplaguicida a base de *Trichoderma koningiopsis* cepa Th003 en el control de *B. cinerea* en cultivos de mora. In: Zapata, J. (Ed.). Desarrollo de prototipos de bioplaguicida a base de *Rhodotorula glutinis* LvCo7 para el control de *Botrytis cinerea* en cultivos de mora. Bogotá: Produmedios p.73-79. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13072>

Zapata Y and Beltrán C. 2019. Evaluation of proposed integrated diseases management strategies in blackberry cultivation according to its sustainability. Revista Brasileira de Fruticultura 41(5): e-499. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019499>