

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LEVADURAS PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DEL MOHO GRIS EN ROSAS (*ROSA* SP.; ROSACEAE) COMO ALTERNATIVA AL USO DE FUNGICIDAS DE SÍNTESIS QUÍMICA

Camilo Andrés Roa Estévez¹, Paulo Germán García-Murillo², François Herrera Jacquelin³

resumen:

El moho gris, causado por *Botrytis cinérea*, es una de las principales enfermedades postcosecha en rosas y genera importantes pérdidas económicas en la floricultura colombiana. Debido a las limitaciones asociadas al uso de fungicidas de síntesis química, este estudio evaluó el potencial de levaduras antagonistas como alternativa de control biológico para inhibir el desarrollo de la enfermedad. El patógeno fue aislado a partir de botones florales infectados de rosa variedad Freedom y, mediante pruebas de patogenicidad, se estableció una concentración de 1×10^3 conidios/ml como adecuada para inducir la enfermedad a temperatura ambiente (≈ 20 °C). Posteriormente, se realizaron bioensayos en tallos de rosa bajo condiciones controladas, comparando aplicaciones preventivas y curativas de dos levaduras antagonistas (LV031 y LV023) y un fungicida comercial a base de fluxapyroxad. Los resultados mostraron que los tratamientos preventivos presentaron una mayor eficacia en la reducción de la severidad de la enfermedad, con valores de área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) cercanos a 12,32, frente a 13,29 observados en los tratamientos curativos. Entre los agentes evaluados, la levadura LV031 (*Pichia onychis*) destacó por presentar el mayor efecto inhibitorio, con valores de ABCPE aproximados de 9,31. En contraste, las aplicaciones curativas mostraron menor capacidad de control sobre el crecimiento del patógeno. En conclusión, las levaduras antagonistas, especialmente LV031, representan una alternativa prometedora y sostenible para el manejo de *B. cinérea* en rosas, resaltando la importancia de la aplicación preventiva y de la selección de cepas con alto potencial biocontrolador.

Palabras Clave: Control biológico, antagonismo, Biocontrol, ABCPE, Postcosecha.

Abstract:

¹ Universidad Santo Tomás, Colombia, Correo: camiloroa@usantotomas.edu.co

² Universidad Santo Tomás, Colombia, Correo: paulogarcia@usta.edu.co

³ Universidad Santo Tomás, Colombia, Correo: francoisherrera@usta.edu.co

Gray mold, caused by *Botrytis cinerea*, is one of the main post-harvest diseases in roses and generates significant economic losses in Colombian floriculture. Due to the limitations associated with the use of chemically synthesized fungicides, this study evaluated the potential of antagonist yeasts as a biological control alternative to inhibit the development of the disease. The pathogen was isolated from flower buds infected with rose Freedom variety and, by pathogenicity tests, a concentration of 1×10^3 conidia/ml was established as adequate to induce the disease at room temperature ($\approx 20^\circ\text{C}$). Subsequently, bioassays were performed on rose stems under controlled conditions, comparing preventive and curative applications of two antagonist yeasts (LV031 and LV023) and a commercial fungicide based on fluxapyroxad. The results showed that preventive treatments were more effective in reducing the severity of the disease, with values of area under the disease progression curve (AUDPC) close to 12.32, compared to 13.29 observed in curative treatments. Among the agents evaluated, the yeast LV031 (*Pichia onychis*) stood out for presenting the greatest inhibitory effect, with AUDPC values of approximately 9.31. In contrast, curative applications showed less ability to control the growth of the pathogen. In conclusion, antagonist yeasts, especially LV031, represent a promising and sustainable alternative for the management of *B. cinerea* in roses, highlighting the importance of preventive application and selection of strains with high biocontrol potential.

Keywords: Biological control, antagonism, Biocontrol, AUDPC, Postharvest.

1. Introducción:

El sector floricultor en Colombia se ha consolidado como una industria clave en la economía del país, siendo la tercera fuente más importante de ingresos, además de ser un gran generador de empleos en la zona central de Colombia (Gualdrón et al., 2022). Según la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores (Asolcoflores, 2022), el país se posiciona como el segundo mayor exportador de flores del mundo, justo detrás de Holanda, siendo Estados Unidos nuestro principal comprador (Mercado, 2024).

Teniendo en cuenta la importancia de las condiciones sanitarias para mantener la calidad de las flores además de su creciente demanda, se ha visto necesario un aumento y cambio de sus procesos de preservación y transporte donde se ven afectadas de igual manera los cultivos de rosa, los cuales representan un 37% de las exportaciones de flores del país (Asolcoflores,

2022), es fundamental cuidar la calidad de estas (Beltrán Palacios et al., 2023), lo cual se traduce en una mayor calidad del producto.

Las rosas, como todo cultivo, son susceptibles a enfermedades durante todo su ciclo de vida, incluyendo el transporte, siendo este último el momento en que son más vulnerables debido a que ya no cuentan con la supervisión constante de los trabajadores que aseguren su calidad ni con sus defensas naturales. En este periodo, una enfermedad de principal interés es el moho gris la cual representa pérdidas significativas en las ventas del producto (García-Murillo, 2021).

El moho gris llega a causar aproximadamente entre un 15% y un 30% de las pérdidas anuales de rosas (López Ortega, 2012; Muñoz et al., 2025). Por lo tanto, es importante tratar esta enfermedad, y para ello se suelen utilizar fungicidas de síntesis química como el Procloraz y la Fenhexamida (García-Murillo, 2021), los cuales son eficaces contra hongos, pero resultan peligrosos tanto para el medio ambiente como para la salud. Además, es importante reconocer que el moho gris puede desarrollar resistencia a los fungicidas de síntesis química, obligando a los exportadores y/o agricultores a aumentar su uso, lo que puede agravar la situación respecto al cuidado del medio ambiente (García-Murillo, 2021).

Para evitar el uso excesivo de estos fungicidas de síntesis química es necesario pensar en posibles alternativas para controlar de manera efectiva el moho gris. Entre ellas se encuentran el uso de sales como el cloruro de calcio (Muñoz et al., 2025), bacterias y hongos con capacidad antagonica frente a la enfermedad (Wu et al., 2025). Esta última alternativa resulta de mayor interés debido a su inocuidad para el medio ambiente, baja afectación en la salud humana, capacidad de adaptación frente al patógeno y tolerancia a bajas temperaturas (Wu et al., 2025). Por ello, este trabajo busca analizar cuáles levaduras son más efectivas para el control del moho gris en rosas.

En este contexto, el uso de levaduras antagonistas ha cobrado relevancia como una alternativa sostenible para el control del moho gris en postcosecha. Diversos estudios han demostrado que ciertas especies de levaduras son capaces de inhibir el desarrollo de *B. cinérea* mediante distintos mecanismos, como la competencia por nutrientes y espacio, la producción de metabolitos antifúngicos y la colonización eficiente de los tejidos vegetales, lo que limita el establecimiento del patógeno (Spadaro & Droby, 2016; Liu et al., 2013). Estas características

permiten reducir la severidad de la enfermedad sin generar impactos negativos significativos sobre el ambiente o la salud humana.

Adicionalmente, las levaduras presentan ventajas importantes frente a otros agentes de control biológico, como su capacidad de adaptación a condiciones de almacenamiento en frío y su estabilidad durante el manejo postcosecha, lo cual resulta especialmente relevante en sistemas de exportación de flores (Romanazzi et al., 2016; Wu et al., 2025). Asimismo, se ha reportado que su eficacia puede variar entre cepas, lo que resalta la importancia de evaluar y seleccionar microorganismos con alto potencial antagonista para su aplicación específica en cultivos de rosa (Liu et al., 2013). En este sentido, el presente estudio se enfoca en evaluar la efectividad de levaduras como agentes de control biológico frente a *Botrytis cinérea*, contribuyendo al desarrollo de estrategias más sostenibles en la floricultura.

2. Metodología

La evaluación de la actividad biocontroladora de las distintas levaduras que se tienen en posesión (aislamientos de cebolla y una levadura que contaminó el crecimiento de *B. cinérea*) y de un fungicida comercial (Lonselor, con ingrediente activo Fluxapyroxad) contra *B. cinérea* fue realizada en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Santo Tomás sede principal en la ciudad de Bogotá D. C., Colombia.

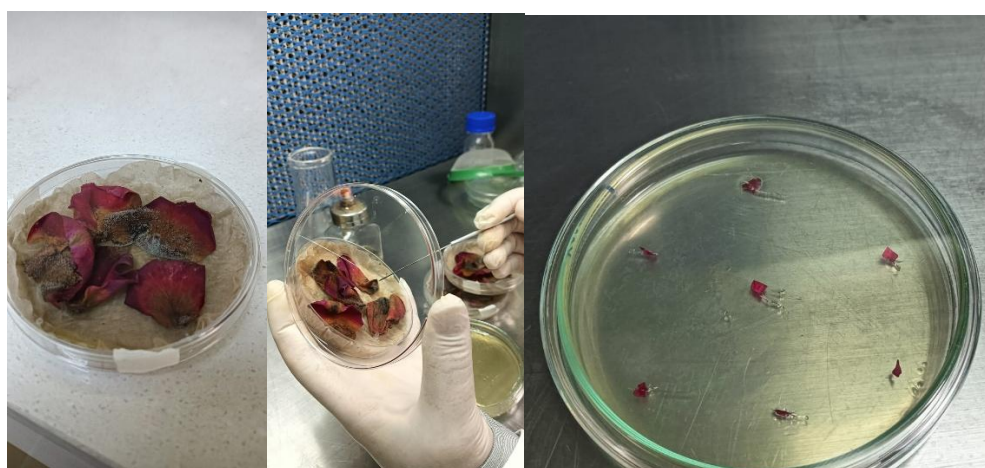
2.1. Aislamiento del patógeno

Para la obtención del patógeno (hongo del moho gris *B. cinérea*) se extrajeron muestras del hongo fitopatógeno las cuales fueron identificadas de flores con signos y síntomas compatibles con la enfermedad del moho gris (coloración marrón en pétalos y decoloración en el tallo, así mismo avistamiento de micelio en ciernes), provenientes de tallos y estructuras florales de *Rosa* sp. de variedad desconocida, adquiridas en una venta de flores para adorno en las calles del barrio Patio Bonito, localidad de Kennedy, Bogotá D. C.

El aislamiento del hongo se hizo por medio de la extracción de los pétalos enfermos de las rosas, las cuales fueron cortadas en la zona alemana a la parte más clara de la enfermedad, para posteriormente ser lavadas en hipoclorito al 6%, durante unos minutos, esto se realizó con el motivo de eliminar todo rastro de bacterias presentes en el proceso de pudrición de la planta, asegurando solo la presencia del hongo el cual se encuentra creciendo por dentro de

los pétalos, posteriormente se deposita los fragmentos ya lavados en cámaras húmedas (como se ve en las fotografías 1 cajas de Petri con toallas de papel estéril humedecidas) la cuales permitieron el crecimiento del hongo para su identificación, posteriormente con el crecimiento del micelio de *B. cinérea* en las cámaras húmedas con una aza de aguja se extrajo parte del micelio y se depositó en 20 cajas de Petri con medio PDA y posteriormente guardado en una incubadora a temperatura ambiente ($\approx 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), logrando así el aislamiento y preservación del hongo patógeno para las siguientes pruebas.

Fotografías 1. Aislamiento de *B. cinérea*

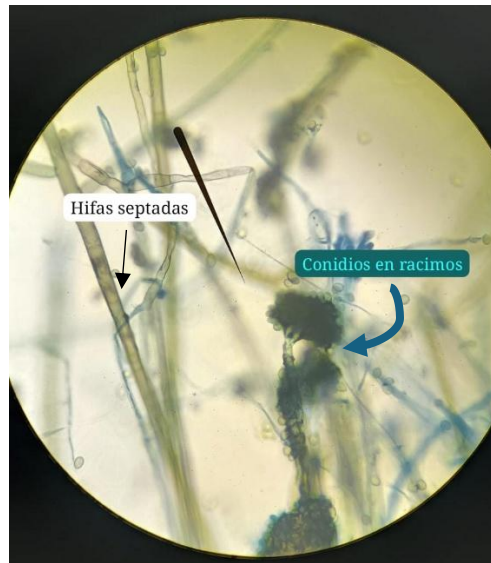


Fuente: Propia

2.2. Identificación de *Botrytis cinérea*

La identificación del hongo patógeno se realizó mediante observación microscópica del micelio obtenido en cámaras húmedas. Se evaluaron características morfológicas como hifas septadas, conidióforos ramificados y conidios globosos dispuestos en racimos, así como la coloración gris característica del micelio como se ve en la fotografía 2, las cuales corresponden a descripciones reportadas para *B. cinérea* (Barnett & Hunter, 1998; Elad et al., 2007).

Fotografía 2. identificación de *B. cinérea*



Fuente: Propia

2.3. Preparación de suspensiones del patógeno *Botrytis cinerea*

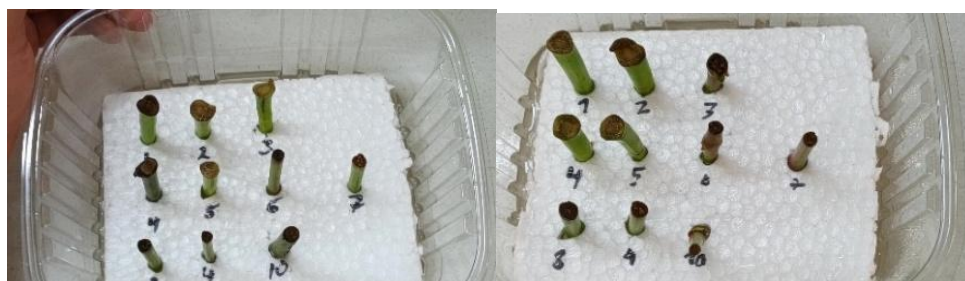
Con el hongo ya aislado e identificado, se realizaron siembras del hongo en 20 cajas de Petri, cada una en medio de agar papa dextrosa y papa dextrosa líquida. Posteriormente, en 180 ml de agua destilada estéril mezclado con polisorbato 20 (Tween 20, Merck), preparado a una concentración del 0,01%, se realizó el raspado del micelio con un asa redonda. A partir de este volumen se prepararon las suspensiones de conidios de *B. cinerea*, llevándolas a un volumen final de 9 ml en 20 tubos de ensayo generándose diluciones para facilitar la lectura de concentración madre. Las suspensiones fueron previamente filtradas a través de gasas de algodón estéril para obtener únicamente los conidios del hongo.

La concentración de cada suspensión se determinó mediante una cámara de Neubauer, ajustándose a 1×10^5 conidios/ml (concentración previamente estandarizada en una prueba de patogenicidad en tallos de rosa de la variedad Vendela) (García Murillo, 2019) y posteriormente diluirlo hasta obtener concentraciones de 1×10^4 y 1×10^3 conidios/ml para encontrar la forma segura de producir la enfermedad en cada uno de los tallos, para ello se preparó unas pruebas de patogenicidad con las cuales se determinan cual concentración resulta más idónea.

2.4. Montaje pruebas de patogenicidad (variedad rosa Freedom)

Con las distintas concentraciones preparadas (3 concentraciones, 1×10^5 , 1×10^4 y 1×10^3 conidios/ml) y una prueba en blanco se empezó a buscar la concentración mínima que genere signos y síntomas de la enfermedad, tanto para temperatura ambiente como para temperatura de refrigeración para futuros bioensayos, se buscó mantener las condiciones en las cuales se asegure solo el crecimiento del hongo por lo tanto el montaje se realizó en cámaras húmedas plásticas que aseguren el aislamiento del exterior, en donde se pusieron sobre una base de poliestireno (icopor) como se ve en las fotografías 3, los tallos de rosas previamente lavadas con hipoclorito al 6% durante unos 2 minutos y lavadas con agua destilada estéril, fueron posteriormente inoculados con cada concentración y subsecuentemente almacenados con el propósito de que en distintos días se fueran a medir el crecimiento en longitud de tantos signos como síntomas de la presencia del hongo hasta que el proceso de descomposición natural altere el tamaño de los tallos o la aparición de micelio y estructuras reproductivas el cual es la estructura a la que le llamamos moho gris y la misma que le da el nombre a la enfermedad.

Fotografías 3. Camaras humedas



Fuente propia

Las pruebas de patogenicidad se realizaron bajo un diseño completamente al azar (DCA), en el que se evaluaron diferentes concentraciones del inóculo de *B. cinerea*. Cada tratamiento contó con 10 repeticiones, considerando como unidad experimental un tallo de rosa.

Se midieron variables como la longitud del síntoma de necrosis, el crecimiento del micelio y la esporulación del patógeno. Estas mediciones se realizaron teniendo en cuenta la extensión del crecimiento desde el punto de inoculación hacia la base del tallo, en centímetros.

Para la medición de estas variables se utilizó un pie de rey. Los ensayos se llevaron a cabo en cámaras húmedas bajo condiciones controladas, utilizando material previamente desinfectado con hipoclorito y manipulando las muestras en cámara de flujo laminar, con el uso de guantes de nitrilo para mantener condiciones de asepsia.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía.

2.5. Montaje de las pruebas de protección en tallos de rosa

Para el montaje de los bioensayos de protección se emplearon dos levaduras previamente aisladas. La cepa LV031 fue obtenida a partir de cebolla de bulbo en el municipio de Cucaita (Boyacá) y corresponde a la especie *Pichia onychis*, mientras que la cepa LV023 fue aislada a partir de un cultivo de *B. cinérea* contaminado con este microorganismo (fotografía 4), donde se evidenció una inhibición del crecimiento de *B. cinérea*.

Fotografía 4. Cultivo de *B. cinérea* contaminado con LV023



Fuente: Propia

Las levaduras fueron activadas en cajas de Petri con medio PDA (papa dextrosa agar) y posteriormente utilizadas para la preparación de las suspensiones inoculantes a una concentración de 1×10^7 células/ml, siguiendo lo reportado por García-Murillo (2023). De manera adicional, se preparó el fungicida comercial (Fluxapyroxad, concentración de 300g/l)

a una concentración de 1 ml/l, el cual fue incluido como tratamiento de referencia para comparar la eficacia de las levaduras frente a un producto químico utilizado en el control de *B. cinérea*.

Los bioensayos se establecieron en tallos de rosa previamente desinfectados con hipoclorito al 6% y lavados con agua destilada estéril, bajo condiciones de cámara húmeda. Para ello, se prepararon un total de 16 cámaras húmedas: ocho con 10 tallos y ocho con 5 tallos, distribuidas entre los diferentes tratamientos (levaduras, fungicida y control). Se incluyó un control sin tratamiento con el fin de evaluar el desarrollo natural del patógeno, así como un control adicional donde no se inocula nada a los tallos para determinar el tiempo límite de evaluación, definido en función del deterioro físico del material vegetal, evidenciado principalmente por la disminución del tamaño de los tallos debido a procesos de descomposición.

La unidad experimental correspondió a un tallo de rosa, y cada tratamiento contó con al menos cinco repeticiones. Las evaluaciones se realizaron de manera periódica durante el tiempo experimental, registrando el avance de la enfermedad a lo largo de los días. A partir de estos datos, se calcularon variables integradoras como el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), con el fin de describir la dinámica del desarrollo del patógeno en cada tratamiento. Durante el experimento, los tratamientos fueron aplicados según su naturaleza (preventivo o curativo): en los tratamientos preventivos, las levaduras y el fungicida se aplicaron 48 horas antes de la inoculación del patógeno, mientras que, en los tratamientos curativos, la aplicación se realizó 48 horas después de la inoculación de *B. cinérea*. En todos los casos se aseguraron condiciones homogéneas en cámaras húmedas.

Las variables evaluadas se midieron de manera similar a las pruebas de patogenicidad. Se cuantificó la longitud del síntoma de necrosis y el crecimiento micelial, así como la esporulación del patógeno, mediante mediciones en centímetros desde el punto de inoculación hacia la base del tallo. Para estas mediciones se utilizó un pie de rey, permitiendo obtener valores precisos del avance del patógeno en el tejido vegetal.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial, considerando como factores el agente de control (LV031, LV023, fungicida y control) y el momento de aplicación (preventivo y curativo). Se evaluó el efecto de los tratamientos sobre

el crecimiento de *B. cinérea*, teniendo en cuenta si estos fueron aplicados antes o después de la inoculación.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial, considerando los factores: agentes de control, efecto de aplicación (preventivo y curativo) y tiempo (días), así como sus interacciones para determinar el efecto de los tratamientos y sus interacciones sobre el desarrollo de la enfermedad.

3. Resultados y Discusión

3.1. Pruebas de patogenicidad

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas de patogenicidad se establecieron los parámetros experimentales para los bioensayos de protección, específicamente la concentración del inóculo y el tiempo de evaluación.

Durante el desarrollo del experimento se observó que, a medida que avanzaban los días, los tallos presentaban cambios en su estructura física asociados a procesos de descomposición, en los primeros días se observó un crecimiento en la longitud de una coloración negra la cual se le atribuye al crecimiento del síntoma de necrosis, lo que limitaba la toma de datos en etapas posteriores, sin embargo este síntoma permitió evidenciar que para que haya un crecimiento micelial se necesitaba primero el proceso de necrosis, ya que el micelio presento crecimiento solo en partes de tallo que ya muestran un estado necrótico. Con base en estas observaciones, se definió un periodo máximo de evaluación de 18 días, dentro del cual fue posible registrar de manera consistente el desarrollo de la enfermedad antes del deterioro del material vegetal.

La evaluación de la patogenicidad de *B. cinérea* a diferentes concentraciones de inóculo evidenció un efecto directo sobre la dinámica de infección. La concentración de 10^5 conidios/ml presentó una aparición temprana del crecimiento micelial; sin embargo, se observó la presencia de crecimiento fúngico no atribuible al patógeno en estudio, con características morfológicas distintas a las típicas de *B. cinérea* (Figura 5), y únicamente 2 de los 10 tallos evaluados presentaron micelio característico del patógeno, lo que sugiere posibles problemas de contaminación.

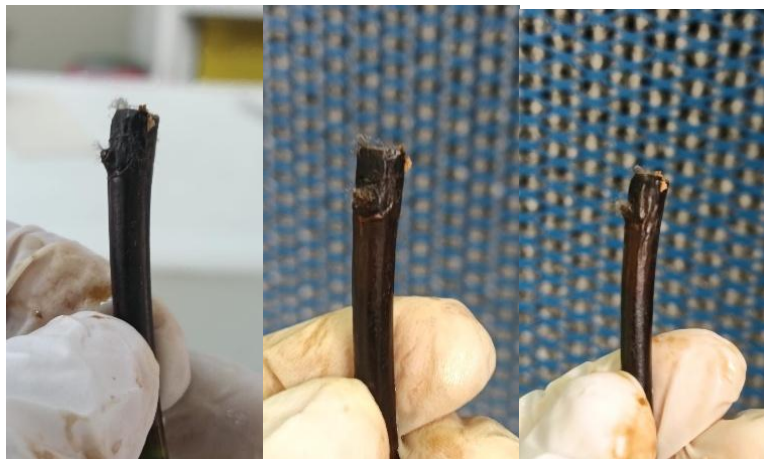
Fotografías 5. Posible contaminación en tallo de concentración 10^5 conidios/ml



Fuente: Propia

Por su parte, la concentración de 10^3 conidios/ml mostró un desarrollo más lento del micelio, pero permitió la identificación clara de signos característicos del patógeno, como crecimiento micelial y esporulación, en varios tallos evaluados como se ve en las fotografías 6. En este sentido, esta concentración fue seleccionada para las pruebas de protección al ser la mínima capaz de inducir de manera consistente los síntomas y signos del moho gris.

Fotografías 6. Crecimiento micelial en los tallos inoculados con concentración 1×10^3 .



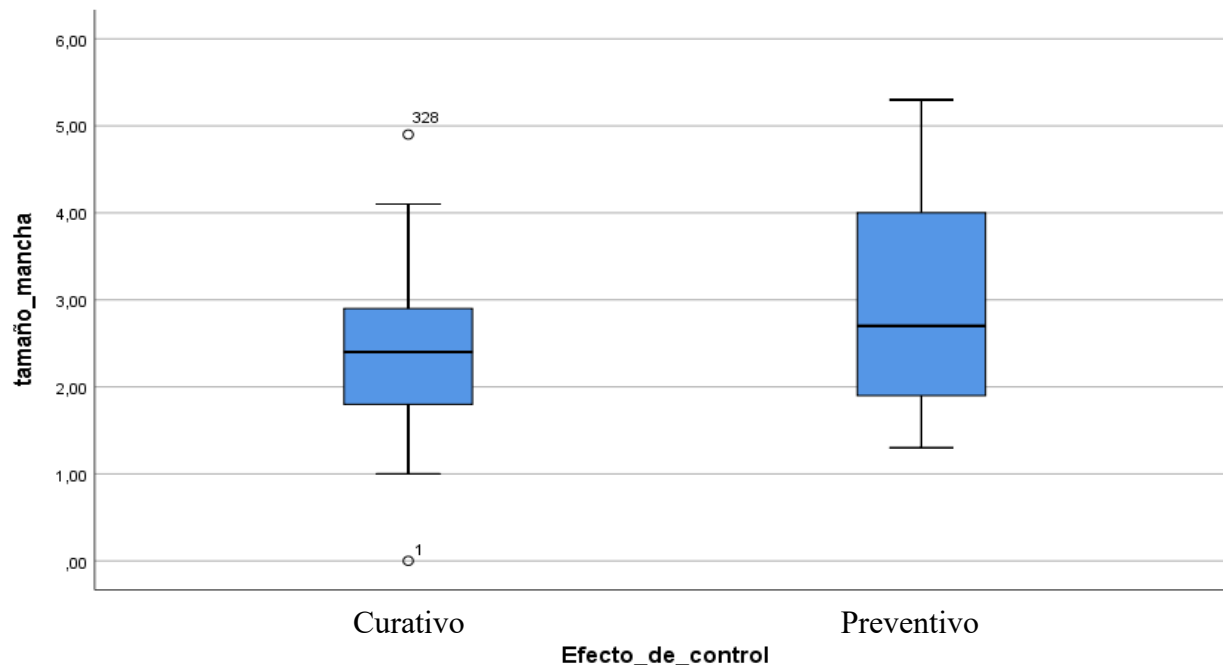
Fuente: Propia

3.2. Bioensayos de protección

El análisis de los bioensayos de protección frente a *Botrytis cinérea* evidenció diferencias en la severidad de la enfermedad en función del momento de aplicación y del agente de control.

En términos generales, los tratamientos preventivos presentaron valores relativamente menores en promedio del tamaño de síntoma de necrosis ($\approx 2,39$ cm) en comparación con los tratamientos curativos ($\approx 2,94$ cm) aun así esta diferencia no es estadísticamente significativa, indicando que finalmente al final del tiempo la progresión de la enfermedad es igual en ambos contextos. En contraste, para la variable área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) sí se observaron diferencias estadísticamente significativas, con valores menores en los tratamientos preventivos ($\approx 12,32$ cm*día) frente a los curativos ($\approx 13,29$ cm*día), como se observa en la gráfica 1. Esto sugiere que la aplicación preventiva redujo la velocidad de progresión de la enfermedad a lo largo del tiempo, más que el tamaño final de la lesión, comportamiento que ha sido reportado previamente en sistemas de patógenos postcosecha (Elad et al., 2007).

Figura 1. Gráfico de cajas y de bigotes Crecimiento de síntoma de necrosis entre curativo y preventivo



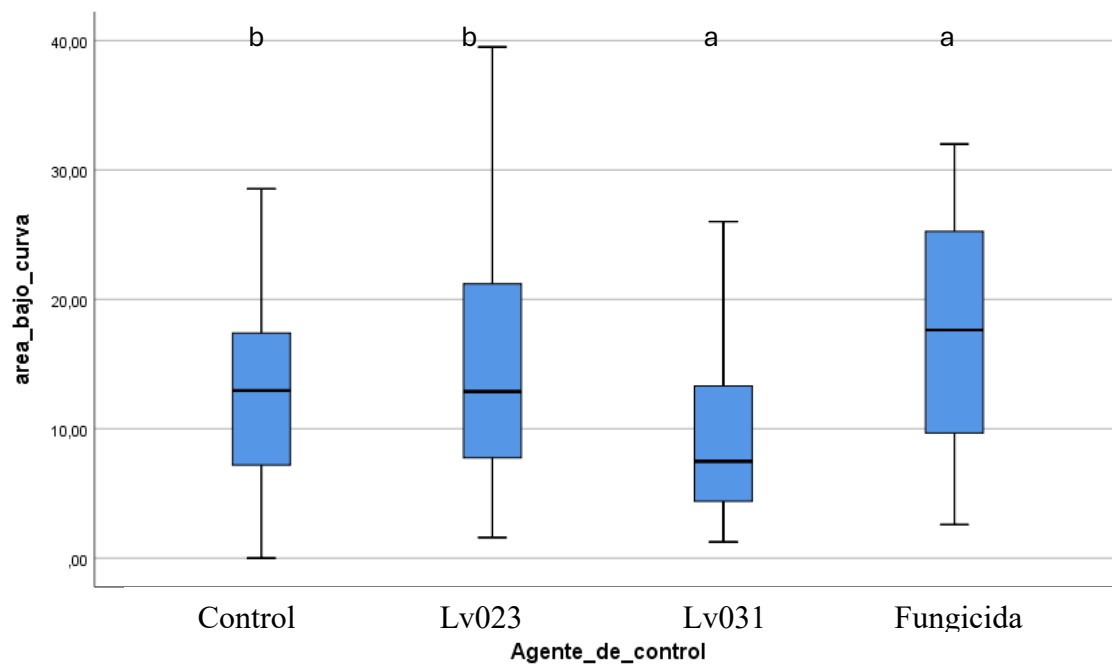
Fuente: Propia

El crecimiento micelial también fue relativamente menor en condiciones preventivas ($\approx 1,71$ cm) en comparación con las curativas ($\approx 1,91$ cm), lo que sugiere una menor colonización del tejido vegetal. Sin embargo, variables como los días a la aparición de micelio y esporulación mostraron diferencias reducidas entre tratamientos, indicando que el efecto de los agentes de control se manifiesta principalmente en la reducción del progreso de la enfermedad más que en el retraso de su inicio (Romanazzi et al., 2016).

Para las variables área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) y días a la aparición del micelio, el análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias estadísticamente significativas entre los agentes de control evaluados. Debido a que se compararon más de dos tratamientos, se realizó una prueba de comparación múltiple de Duncan para identificar los grupos estadísticamente homogéneos entre tratamientos.

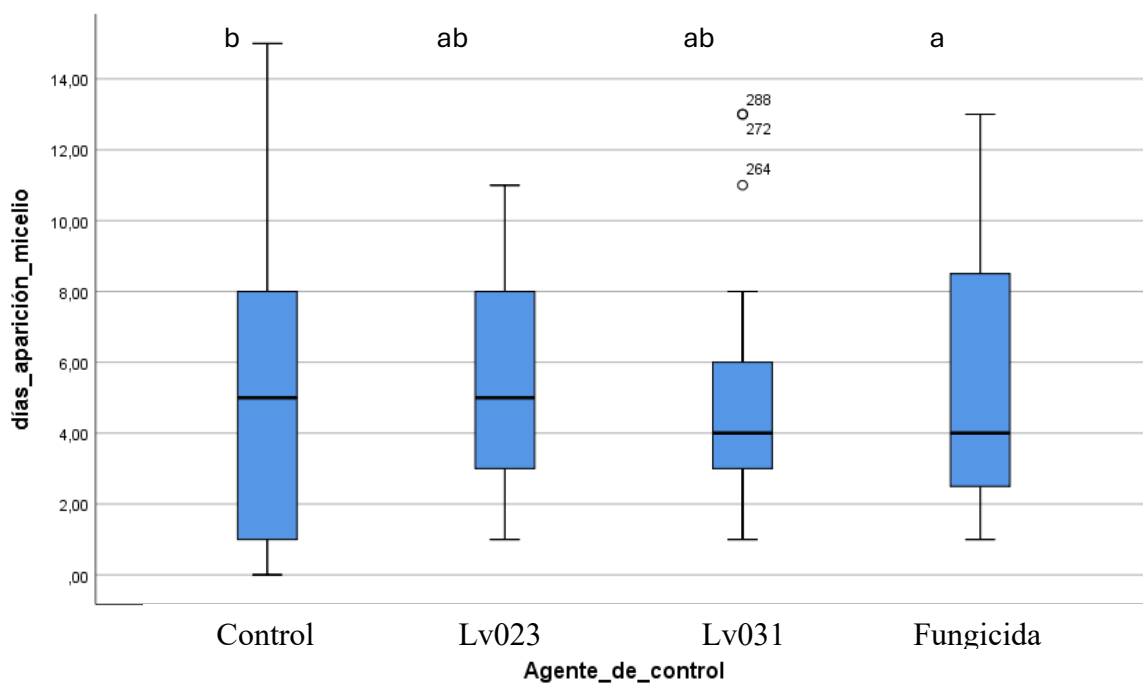
Aunque en las figuras 2 y 3 se observa un solapamiento parcial entre las cajas de los diferentes tratamientos, la prueba de Duncan permitió establecer diferencias estadísticas entre algunos agentes de control. En términos generales, la levadura LV031 se agrupó dentro de los tratamientos con menor severidad de la enfermedad, presentando valores reducidos de ABCPE y crecimiento micelial en comparación con el control. Estos resultados sugieren un importante potencial antagonista frente a *Botrytis cinérea*, posiblemente asociado a mecanismos como competencia por nutrientes y producción de metabolitos antifúngicos (Spadaro & Droby, 2016; Liu et al., 2013). En este análisis, los tratamientos que comparten la misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Duncan ($p < 0,05$).

Figura 2. Gráfico de cajas y bigotes área bajo la curva del crecimiento de síntoma de necrosis en tallos



Fuente: Propia

Figura 3. Gráfico de cajas y bigotes días de aparición de micelio en tallos



Fuente: Propia

Los resultados obtenidos confirman que el momento de aplicación del tratamiento es un factor determinante en el control de *Botrytis cinérea*. La mayor eficacia observada en los tratamientos preventivos sugiere que la inhibición temprana del patógeno limita su establecimiento, lo cual coincide con lo descrito por Elad et al. (2007), quienes señalan que el control de *B. cinérea* es significativamente más efectivo cuando se realiza antes de la infección del patógeno.

El hecho de que las diferencias más marcadas se observen en variables como el ABCPE y el crecimiento micelial indica que los tratamientos actúan principalmente reduciendo la velocidad de desarrollo de la enfermedad. Este comportamiento ha sido reportado por Romanazzi et al. (2016), quienes destacan que los tratamientos alternativos al control químico suelen ser más eficaces en la reducción de la severidad acumulada que en la inhibición completa de la infección inicial.

La levadura LV031 presentó uno de los desempeños más favorables entre los agentes biológicos evaluados, agrupándose dentro de los tratamientos con menor severidad de la enfermedad. Diversos estudios han demostrado que las levaduras pueden inhibir el desarrollo de *B. cinérea* mediante múltiples mecanismos, incluyendo competencia por nutrientes, producción de compuestos volátiles y secreción de enzimas hidrolíticas (Spadaro & Droby, 2016; Parafati et al., 2015). La eficacia observada en LV031 podría estar asociada a una combinación de estos mecanismos.

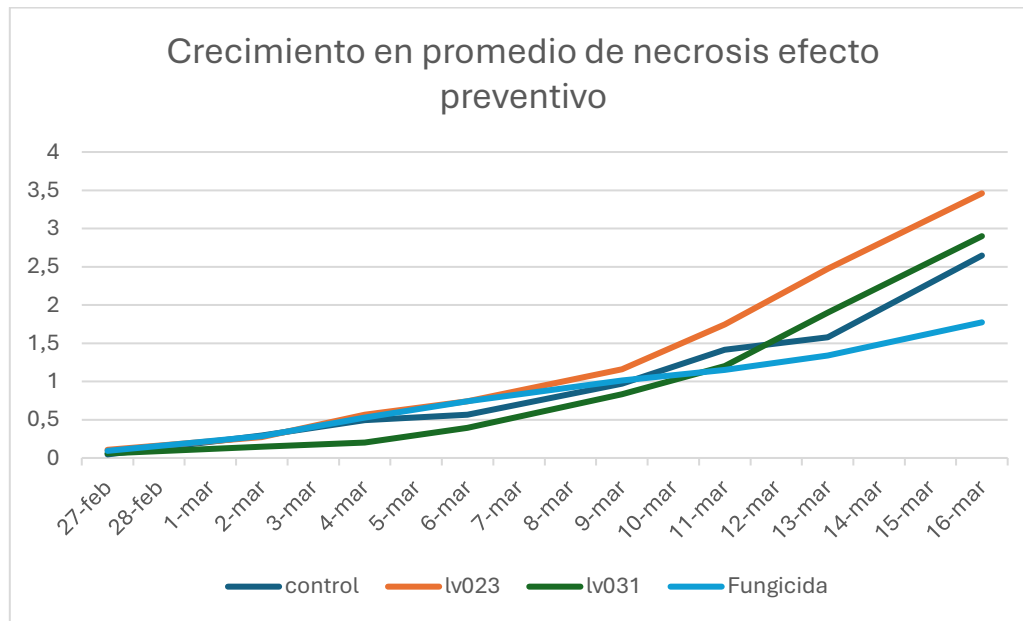
En contraste, la levadura LV023 presentó una menor eficacia, lo que podría estar relacionado con una menor capacidad de colonización o producción de metabolitos antifúngicos. Según Liu et al. (2013), la variabilidad en la eficacia de agentes biológicos es común y depende en gran medida de las características fisiológicas de cada cepa.

Adicionalmente, la eficacia observada en las levaduras antagonistas puede explicarse por diversos mecanismos de acción reportados en la literatura. Entre estos, la competencia por nutrientes y espacio juega un papel fundamental, ya que limita el acceso del patógeno a los recursos necesarios para su establecimiento. Asimismo, se ha descrito la producción de compuestos antifúngicos y metabolitos volátiles que pueden inhibir directamente el crecimiento de *Botrytis cinérea* (Spadaro & Droby, 2016; Liu et al., 2013). De igual manera, algunas levaduras presentan mecanismos de interacción directa con el patógeno, como la secreción de enzimas hidrolíticas que afectan la integridad de sus estructuras celulares (Parafati et al., 2015). Adicionalmente, se ha sugerido que ciertos microorganismos antagonistas pueden inducir respuestas de defensa en el tejido vegetal, contribuyendo a una mayor resistencia frente a la infección (Romanazzi et al., 2016).

En contraste, el fungicida utilizado, cuyo ingrediente activo es fluxapyroxad, actúa como inhibidor de la succinato deshidrogenasa (SDHI), interfiriendo en la respiración mitocondrial del patógeno y reduciendo su crecimiento y desarrollo (FRAC, 2023; Avenot & Michailides, 2010) esto se evidencia en un lento crecimiento de necrosis en los tallos con el fungicida tanto en efecto preventivo como curativo como se ve en las figuras 4 y 5, aun así esta aplicación del fungicida con fluxapyroxad presenta mayor efectividad cuando se aplica de manera preventiva, ya que impide el establecimiento inicial del hongo; sin embargo, su eficacia muestra una disminución en las aplicaciones curativas, donde el patógeno ya ha colonizado el tejido vegetal. Aun así a diferencia del fungicida, las levaduras antagonistas pueden actuar de forma continua sobre el patógeno y adaptarse al microambiente del tejido, lo que podría explicar su desempeño competitivo, especialmente en condiciones preventivas.

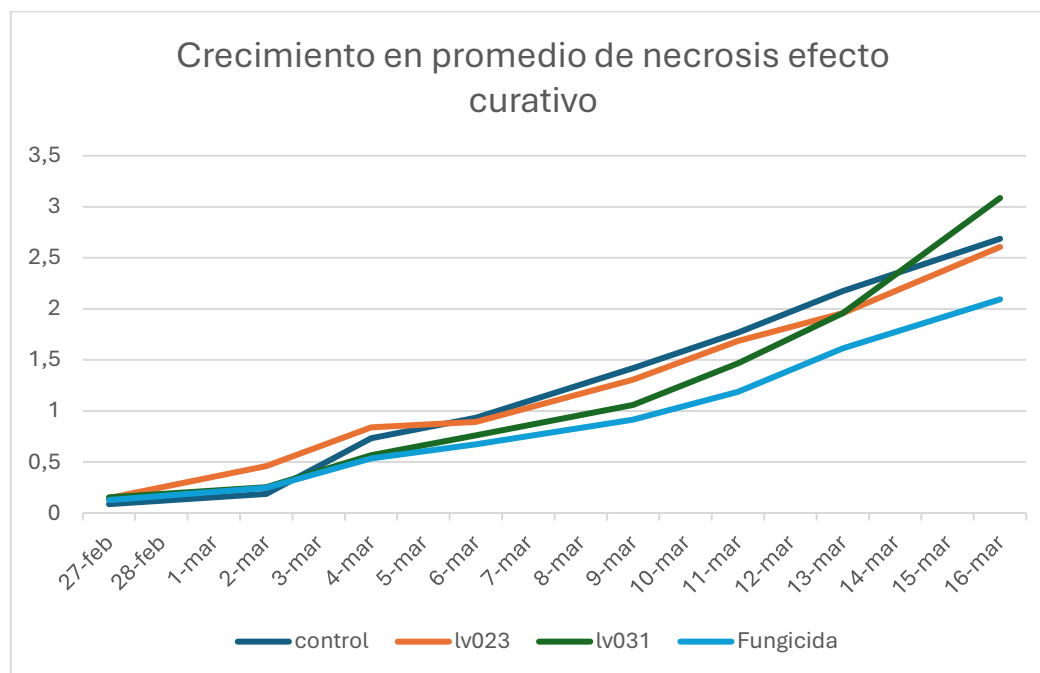
Estos mecanismos, actuando de manera individual o combinada, podrían explicar la reducción en la severidad de la enfermedad observada en este estudio.

Figura 4. Graficas de crecimiento efecto preventivo.



Fuente: propia

Figura 5. Graficas de crecimiento efecto curativo.



Fuente: propia

4. Conclusiones

- A partir del análisis estadístico se determinó que los tratamientos preventivos fueron ligeramente más eficaces que los curativos en el control de *Botrytis cinérea*, lo que coincide con lo reportado en estudios de manejo de enfermedades postcosecha (Elad et al., 2007; Romanazzi et al., 2016). Este comportamiento se observó tanto en los tratamientos biológicos como en el fungicida, evidenciando la influencia del momento de aplicación sobre la dinámica de progresión de la enfermedad.
- La reducción de la severidad de la enfermedad se evidenció principalmente en variables como el ABCPE y el crecimiento micelial, indicando que los tratamientos actúan limitando el desarrollo del patógeno más que evitando su aparición. Este efecto fue consistente tanto en las levaduras antagonistas como en el fungicida, aunque con diferencias en magnitud entre tratamientos.
- El fungicida evaluado, basado en fluxapyroxad, mostró mayor eficacia en aplicaciones preventivas que curativas, lo que se asocia a su modo de acción sobre la respiración del patógeno y su mayor efectividad en etapas tempranas de infección.

- La variabilidad observada entre agentes de control resalta la importancia de la selección de cepas específicas, dado que su eficacia depende de sus características fisiológicas y mecanismos de acción (Liu et al., 2013).
- Aunque el fungicida comercial presentó una eficacia ligeramente superior en el control de *Botrytis cinerea* en comparación con las levaduras evaluadas, estas últimas mostraron resultados comparables en promedio en especial lv031, evidenciando su potencial como una alternativa sostenible para el manejo postcosecha. Su incorporación en estrategias de control biológico podría contribuir a reducir la dependencia de fungicidas de síntesis química y favorecer prácticas agrícolas más sostenibles.

5. Recomendaciones

Se recomienda que futuros estudios evalúen la eficacia de las levaduras antagonistas bajo condiciones comerciales de postcosecha, incluyendo almacenamiento en refrigeración y simulación de transporte, con el fin de validar su aplicabilidad en sistemas reales de producción. Asimismo, resulta pertinente profundizar en los mecanismos de acción involucrados, mediante la evaluación de respuestas fisiológicas del hospedero, actividad enzimática y producción de compuestos antifúngicos.

Adicionalmente, se sugiere incrementar el número de unidades experimentales (tallos de rosa) e incorporar distintas variedades en cada repetición, con el propósito de mejorar la robustez de los resultados y permitir su extrapolación a diferentes condiciones comerciales. De igual manera, es fundamental garantizar condiciones estrictas de esterilidad y aislamiento del material vegetal para evitar contaminación cruzada durante los ensayos.

Finalmente, se recomienda ampliar el número de cepas evaluadas y complementar los estudios con análisis económicos y ambientales, que permitan determinar la viabilidad del uso de estos agentes biológicos a escala comercial.

Referencias

Asocolflores. (2022). *Florverde Sustainable Flowers*. <https://www.florverde.org>

Avenot, H. F., & Michailides, T. J. (2010). Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides

in phytopathogenic fungi. *Crop Protection*, 29(7), 643–651.

<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.02.019>

Beltrán Palacios, G. F., Fonseca Gómez, L. Y., & Mateus Benavides, S. (2023). *Detección de enfermedades en rosas latinas mediante el análisis y procesamiento de imágenes*.

<https://hdl.handle.net/20.500.12494/55115>

Elad, Y., Pertot, I., & Prado, A. M. C. (2007). Control of *Botrytis cinérea* in crops. *European Journal of Plant Pathology*, 119(1), 1–14. [https://doi.org/10.1007/s10658-007-9202-](https://doi.org/10.1007/s10658-007-9202-8)

[8](https://doi.org/10.1007/s10658-007-9202-8)

FRAC. (2023). *FRAC code list 2023: Fungicides sorted by mode of action (including FRAC code numbering)*. Fungicide Resistance Action Committee. <https://www.frac.info>

García-Murillo, P. G. (2019). Compatibilidad de un aislamiento del género *Trichoderma* con ocho fungicidas utilizados en el cultivo de rosa. *Redes de Ingeniería*, 10(1), 5–12.

<https://doi.org/10.14483/2248762X.15091>

García-Murillo, P. G. (2021). Evaluación de cuatro biofungicidas y dos cepas del género *Trichoderma* contra el moho gris en *Rosa*. *Agronomía & Ambiente*, 41(1).

García-Murillo, P. G. (2023). Alternativas de manejo de la pudrición blanda del tomate mediante el uso de levaduras. *CITAS*, 9(1). <https://doi.org/10.15332/24224529.7395>

Gualdrón, A. R. D., Fernández, D. C. M., & Hernández, R. O. (2022). Simulación climática de un invernadero para rosas. *Revista Politécnica*, 18(36), 107–114.

Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Droby, S., Liu, Y., & Wang, Z. (2013). Utilization of antagonistic yeasts to manage postharvest fungal diseases of fruit. *International Journal of Food Microbiology*, 167(2), 153–160.

<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.09.004>

López Ortega, M. del P. (2012). *Control biológico de Botrytis sp. mediante levaduras filamentosas en rosas de corte tipo exportación* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20227>

- Mercado, A. V. C. (2024). *Seguimiento del cultivo de rosas en la etapa productiva: calidad, cantidad y manejo ambiental en la finca Falcon Farms de Colombia S.A. Torremolinos (Suesca-Cundinamarca)* [Trabajo de grado, Universidad de Córdoba].
- Muñoz, M., Behnke, L. E., Bridges, W. C., Schnabel, G., & Faust, J. E. (2025). Postharvest calcium chloride dips: An effective strategy to reduce *Botrytis* blight severity and increase petal strength in cut roses. *Postharvest Biology and Technology*, 219, 113292. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113292>
- Parafati, L., Vitale, A., Restuccia, C., & Cirvilleri, G. (2015). Biocontrol ability and action mechanism of food-isolated yeast strains against *Botrytis cinerea* causing postharvest bunch rot of table grape. *Food Microbiology*, 47, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.11.013>
- Romanazzi, G., Smilanick, J. L., Feliziani, E., & Droby, S. (2016). Integrated management of postharvest gray mold on fruit crops. *Postharvest Biology and Technology*, 113, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.003>
- Spadaro, D., & Droby, S. (2016). Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit. *Crop Protection*, 84, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.01.010>
- Spadaro, D., & Droby, S. (2016). Development of biocontrol products based on microbial antagonists: From the lab to the field. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.07.006>
- Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., & Van Kan, J. A. L. (2007). *Botrytis cinerea*: The cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*, 8(5), 561–580. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00417.x>
- Wu, F., Wang, H., Lin, Y., Feng, S., & Li, X. (2025). Biocontrol mechanisms of antagonistic yeasts on postharvest fruits and vegetables and approaches to enhance their potential. *International Journal of Food Microbiology*, 430, 111038. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.111038>