

**Alternativas de control biológico del moho gris (causado por *Botrytis cinerea*) en
tomate (Cherry) mediante el uso de levaduras.**

Cristian Mateo Salamanca Rodríguez, Johan Steven Pardo Ducuara

Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C

División de Ingenierías

Facultad de ingeniería ambiental

2023

**Alternativas de control biológico del moho gris (causado por *Botrytis cinerea*) en
tomate (Cherry) mediante el uso de levaduras.**

Cristian Mateo Salamanca Rodríguez, Johan Steven Pardo Ducuara

Trabajo de grado para optar el título de ingeniero ambiental.

Director

Paulo German García Murillo

Biólogo; Magister en Ciencias Agrarias con área de énfasis en fitopatología.

Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C

División de Ingenierías

Facultad de ingeniería ambiental

2023

Agradecimientos

En primera instancia, se desea expresar un sincero agradecimiento por la contribución significativa del director de tesis, Paulo German García Murillo, en el desarrollo del trabajo. Quien gracias a su experiencia y compromiso han sido una inspiración constante durante todo el proceso de investigación. Su guía y orientación han sido vitales para el éxito del trabajo. Además, su participación fue fundamental tanto en la toma de datos como en la generación de sugerencias útiles, proporcionando ideas que ayudaron a explicar los resultados obtenidos para finalmente así, mejorar la calidad y precisión del trabajo.

Asimismo, se desea agradecer a la Universidad Santo Tomás por el conocimiento que nos brindó gracias a sus docentes durante la carrera, el préstamo de literatura en el CRAI y el acceso a los equipos del laboratorio, indispensables para realizar el ensayo del trabajo de grado.

Aprovechamos esta oportunidad para expresar nuestro profundo agradecimiento a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de esta tesis. Su apoyo y aliento han sido invaluable durante esta etapa crucial de formación académica.

Contenido

1. Introducción.....	10
2. Objetivos	12
2.1. Objetivo General	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. Antecedentes	13
4. Marco Teórico	14
4.1. El tomate.....	14
4.1.1. <i>Botrytis cinerea</i>	16
4.1.1.1. Métodos de Control de <i>Botrytis cinerea</i>	18
4.2. Tecnologías limpias.....	26
4.2.1. Avances Biotecnológicos	27
4.2.2. Control Biológico	27
4.3. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)	27
4.4. Marco Legal	28
5. Materiales y métodos	31
5.1. Microorganismos y material vegetal	31
5.2. Preparación del inóculo de levaduras antagonistas Lv01Banano, Lv01Papaya, Lv01FlorNaranja y Lv01FlorMorada.....	31
5.3. Preparación de los fungicidas químicos (Mertect® y Prodion®), bioplágida (Subticrop®) y levaduras.....	32
5.4. Preparación del inóculo de hongo patógeno <i>Botrytis cinerea</i>	32
5.5. Efecto de la concentración de la cepa Lv01Banano, Lv01Papaya y biogofungicidas sobre la actividad antagónica de <i>Botrytis cinerea</i> en tomate Cherry.....	33
5.6. Tiempo de aplicación de los productos y cepas a evaluar con respecto a su actividad antagónica hacia <i>Botrytis cinerea</i>	34

6. Resultados y Discusión	35
6.1. Evaluación de dos fungicidas de síntesis química, un biofungicida y dos aislamientos de levaduras a 6 °C.....	35
6.2. Evaluación de dos fungicidas de síntesis química, un biofungicida y dos aislamientos de levaduras a 20 °C.....	37
6.3. Discusión.	39
6.3.1. Iprodione	39
6.3.2. <i>Bacillus subtilis</i>	40
6.3.3. Tiabendazol	41
6.3.4. Lv01Banano y Lv01 Papaya	41
7. Impacto social y humanístico del proyecto.....	43
8. Conclusiones	44
9. Recomendaciones	45
10. Referencias Bibliográficas	46

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación Taxonómica de <i>Botrytis cinérea</i>	17
Tabla 2. Normatividad.....	29
Tabla 3. Productos evaluados contra <i>Botrytis cinerea</i> para la protección del tomate cherry.....	32
Tabla 4. Valores de ABCPE de la severidad representados como longitud de lesión y ABCPE de la incidencia de frutos de tomate correspondiente a heridas con presencia de signos por <i>Botrytis sp.</i> a 6 °C.....	36
Tabla 5. Valores de ABCPE de la severidad representados como longitud de lesión y ABCPE de la incidencia de frutos de tomate correspondiente a heridas con presencia de signos por <i>Botrytis sp.</i> a 20 °C.....	38

Lista de figuras

Figura 1. Crecimiento de <i>Botrytis sp.</i> con tratamientos de control, dos productos químicos (Tiabendazol e Iprodione), un biofungicida (<i>B. subtilis</i>) y dos levaduras (Lv01Papaya y Lv01Banano) a 6°C.....	37
Figura 2. Crecimiento de <i>Botrytis sp.</i> con tratamientos de control, dos productos químicos (Tiabendazol e Iprodione), un biofungicida (<i>B. subtilis</i>) y dos levaduras (Lv01Papaya y Lv01Banano) a 6°C.....	39

Resumen

El control biológico es una de las alternativas ambientales más innovadoras para la reducción de agroquímicos. Por lo tanto, la presente investigación se realizó con el objetivo de combatir la enfermedad causada por *Botrytis cinerea* conocida como “moho gris” buscando una alternativa de control biológico utilizando levaduras obtenidas a partir de frutos como el banano y la papaya. En el estudio se analizaron dos fungicidas de síntesis química como el Iprodione (3-(3,5-dichlorophenyl)-N-(1-methylethyl)2,4-dioxo-1-imidazoline-carboxamide) y Thiabendazol (2-(4-Tiazolil) benzimidazol), un biofungicida (*Bacillus subtilis*) y dos aislamientos de levaduras (banano y papaya) a una temperatura de 6°C y 20°C grados centígrados, analizados específicamente en el fruto comercial tomate Cherry. Para el análisis estadístico se realizó el cálculo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad en severidad e incidencia, acompañado con la prueba de Tukey de los distintos tratamientos en las temperaturas propuestas. Los resultados obtenidos de los tratamientos fueron diferentes en las dos temperaturas, sin embargo, se destacan los valores alcanzados por la cepa extraída del banano con nombre Lv01Banano la cual recibió óptimos resultados en la temperatura de 6°C y 20°C con una reducción del 9.4% en el ABCPE de severidad en comparación con el tratamiento Iprodione y un 8.6% en comparación con *B. subtilis* respectivamente, siendo una alternativa de control biológico para inhibir a *B. cinerea*.

Palabras clave: Biofungicida, Control químico, Fungicidas

Abstract

Biological control is one of the most innovative environmental alternatives for reducing agrochemicals. Therefore, the present research was carried out with the aim of combating the disease caused by *Botrytis cinerea* known as “gray mold” looking for a biological control alternative using yeasts obtained from fruits such as banana and papaya. In the study, two chemical synthesis fungicides Iprodione (3-(3,5-dichlorophenyl)-N-(1-methylethyl)2,4-dioxo-1-imidazoline-carboxamide) y Thiabendazol (2-(4-Tiazolil) benzimidazole) a biofungicide (*Bacillus subtilis*) and two yeast isolates (banana and papaya) were analyzed at a temperature of 6 and 20 degrees Celsius, specifically analyzed in the commercial fruit cherry tomato. For the statistical analysis, the calculation of the area under the curve of the progress of the disease in severity and incidence was performed, accompanied by the Tukey test of the different treatments at the proposed temperatures. The results obtained from the treatments were different at the two temperatures; however, the values achieved by the banana strain named Lv01Banano stand out. It obtained optimal results at both 6°C and 20°C, with a reduction of 9.4% in the ABCPE severity compared to the Iprodione treatment and 8.6% compared to *B. subtilis*, respectively. Lv01Banano proves to be a biological control alternative to inhibit *B. cinerea*.

Key Word: Biofungicide, Chemical control, Fungicides

1. Introducción

Hasta la fecha, el tomate se encuentra entre los productos hortícolas más consumidos a nivel mundial y es la segunda hortaliza de mayor consumo en Colombia. (Arias, et al., n.d.). Sin embargo, tanto en su proceso de cosecha, transporte y almacenamiento suelen sufrir heridas que afectan gravemente su consumo postcosecha. Esto se debe a que estas heridas propician la invasión de bacterias u hongos patógenos, los cuales proliferan y provocan el deterioro y la pudrición del tomate, lo cual, a su vez, ocasiona importantes pérdidas económicas considerables y una vida útil corta. Un valor estimado que se tiene es que hay más de 200 patógenos que pueden afectar esta hortaliza, entre los cuales hay 40, que directamente afectan tanto su calidad como su rendimiento. (Cheng et al., 2023). Uno de ellos es *Botrytis cinerea*, quien es un hongo fitopatógeno que causa el moho gris el cual incrementa la dificultad de control cuando las condiciones ambientales favorecen su desarrollo y crecimiento. Además, ya que este hongo es genéticamente variable y ha desarrollado cepas resistentes a fungicidas de síntesis química introducidos en los últimos años. (Sansone et al., 2015)

No obstante, es importante aclarar, que los fungicidas de síntesis química, además, están siendo sometidos a una reevaluación debido a los problemas de toxicidad que han generado en los recursos alimenticios, los problemas de contaminación ambiental y riesgos para la salud humana. (García, 2023). Es por ello, que se opta por otros métodos para el control de *Botrytis cinerea* u otros fitopatógenos como lo es el control biológico. El cual, funcionalmente se basa en un enfoque eficiente y respetuoso con el medio ambiente para control de enfermedades, pues en este, el principal objetivo es introducir otro organismo antagonista como las levaduras, las cuales son aptas para la competencia espacial o de nutrientes, resistencia inducible a bajas temperaturas y producción de metabolitos (Zheng et al., 2023). Esto con el fin de controlar e inhibir el crecimiento del patógeno y a su vez, reducir la dependencia absoluta de los fungicidas.

Hay distintos ejemplos de uso de control biológico de *B. cinerea* en ornamentales, hortalizas y frutas. Un ejemplo es un estudio exploratorio, donde se evaluó la capacidad antagónica de dos cepas del género *Trichoderma* denominadas USTA-Tri004 y USTA-Tri006, cuatro biofungicidas a base de dos cepas de *Aureobasidium pullulans*, y una cepa de *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma lignorum* contra este microorganismo patógeno en rosa. En donde los

resultados demuestran que la aplicación preventiva de *A. pullulans*, las cepas *T. harzianum* y *T. lignorum*, y las cepas USTA-Tri004 y USTA-Tri006 inhiben los síntomas y signos producidos por *B. cinerea* en tallos de rosa (García, 2021). Por otro lado, se explica que la inhibición hacia este patógeno y la eficacia de los productos mencionados puede atribuirse a que ciertas cepas de levaduras tienen una fuerte competencia por nutrientes, espacio, se adaptan mejor a condiciones ambientales como las temperaturas de refrigeración o de ambiente, e incluso, pueden actuar como parásitos en relación a otros microorganismos. Esto puede aumentar su capacidad para combatir y ser hostiles hacia ciertos patógenos vegetales

Es por eso que, de acuerdo a lo anteriormente planteado, y teniendo en cuenta los modos de acción y control, ejercidos por las levaduras contra los fitopatógenos en la postcosecha, se propuso este proyecto, evaluar el modelo y aplicación de la cepa de las levaduras tanto de papaya (Lv01Papaya) y banano (Lv01banano) frente a la inhibición y desarrollo del hongo patógeno *Botrytis sp.* a 6°C y 20°C en frutos de tomate cherry. En donde se busca describir la interacción de la actividad biocontroladora de las levaduras aplicadas en la investigación, y seguido a esto, evaluar y comparar la eficiencia de inhibición de *B. cinerea* contra igualmente las dos levaduras, los dos fungicidas agrícolas: Iprodione (3-(3,5-dichlorophenyl)-N-(1-methylethyl)2,4-dioxo-1-imidazoline-carboxamide) y Thiabendazol (2-(4-Tiazolil) benzimidazole) y un bioinsumo a base de *Bacillus subtilis* para hallar la efectividad y control del moho gris en el tomate cherry

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Seleccionar alternativas de control biológico del moho gris en tomate cherry mediante el uso de levaduras en condiciones de temperaturas de almacenamiento en la postcosecha.

2.2. Objetivos Específicos

Aislar a partir de frutos de tomate el hongo fitopatógeno *Botrytis sp.* causante del moho gris, obtenido a partir de centros de comercialización en la ciudad de Bogotá.

Obtener levaduras a partir de frutos de tomate y otras especies vegetales con capacidad de crecimiento a temperaturas tanto a 6°C como a 20°C

Seleccionar levaduras con alto nivel antagónico de *Botrytis cinerea* a partir de un ensayo *in planta* a temperatura tanto a 6°C como a 20°C

3. Antecedentes

(Calle, 2019) en su trabajo experimental “control biológico del moho gris (*Botrytis cinerea*) en cultivos de fresa (*Fragaria vesca* L.) mediante hongos filamentosos antagonistas” evaluó la eficiencia de algunas cepas de hongos filamentosos como agentes de biocontrol del moho gris en cultivos de fresa. Se desarrolló la investigación en condiciones *in vitro* empleando dos tratamientos denominados como JI y YI de *Trichoderma harzanium* los cuales obtuvieron porcentajes óptimos de inhibición hacia *B. cinerea* contando con 72,33% y 72,67% respectivamente. En este documento se realizó un análisis de varianza en conjunto con la prueba de Tukey para comparar la eficiencia de los tratamientos. Los resultados obtenidos llegan a la conclusión del efecto óptimo que pueden generar algunos agentes de control biológico para tratar *Botrytis cinerea* los cuales al promover su desarrollo y distribución pueden reducir en gran medida los impactos ambientales generados por los fungicidas tradicionales como lo fue en este caso *Trichoderma harzanium*

Otro antecedente similar que complementa nuestra investigación es ofrecido por Oscar Mauricio Archila en su trabajo “Aproximación al manejo de efecto de *Botrytis cinerea* de tomate producido en el municipio de Fómeque, Cundinamarca” en esta investigación se dio un manejo al comportamiento causado por *B. cinerea* hallando el rendimiento y la calidad del cultivo de tomate bajo dos planes de nutrición y un esquema de fitoprotección. En esta se evaluó *in vitro* efecto inhibidor de tres cepas de macroorganismos: *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* comparándolas con Iprodione, Boscalid, Cyprodinil, Pyrimethanil y Fluopyramy Pyraclostrobin. El cual llegó a la conclusión del óptimo resultado obtenido por la cepa *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* al obtener niveles de inhibición mayores al 80%. Lo cual complementa la investigación del antecedente anterior al dar con óptimos resultados la inhibición de *T. harzianum* hacia *B. cinerea* por otro lado esta investigación es complementaria a nuestros resultados obtenidos debido a que *B. subtilis* logra óptimos resultados en temperatura a 20°C (Archila, 2018)

4. Marco Teórico

4.1. El tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es la segunda hortaliza de mayor consumo en Colombia y es altamente demandada a nivel mundial. Se produce en su mayoría, en regiones como Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Santander y el eje Cafetero (Residuos de Plaguicidas En Cultivos de Tomate, Un Riesgo Para La Salud y Los Ecosistemas, s.f.). Es cultivada y consumida especialmente por sus propiedades para la salud. Esto se debe a que el tomate es rico en nutrientes antioxidantes como el β caroteno, la vitamina C, vitamina E y compuestos fenólicos, que son moléculas determinantes en la prevención del cáncer o enfermedades cardiovasculares. (Panebianco et al., 2022). Por otro parte, también es exquisita en sabor, olor, aspecto, y tienen una particularidad, y es que es una especie que deriva diversos tipos de frutos, de los cuales, pueden haber variadas formas de consumo de esta como el tomate cherry.

El tomate cherry (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) es una especie en particular, se caracteriza por tener una apariencia similar al tomate, pero su circunferencia es más ovalada y su tamaño es más reducido. No obstante, en cuanto a su sabor, el cambio es mínimo y este se usa tanto en restaurantes, bares y diversas recetas como aperitivo, por la elegancia que les da a los platos. Un dato interesante, es que para el año 2021 en Colombia, el tomate representó el 15% como la segunda hortaliza más sembrada después de la arveja. Y de todo este mercado de semillas de *Solanum lycopersicum*, el cherry abarcó un 2% a nivel nacional del producido de esta especie. (Food News Latam., 2021). No obstante, es de vital importancia gestionar adecuadamente tal productividad de esta hortaliza para mantener su frescura, calidad y vida útil durante la postcosecha, ya que esto determinará que llegue a los consumidores finales en óptimas condiciones.

Desde la cosecha, transporte y almacenamiento, es importante destacar que, en Colombia, para que haya una mejor aceptación en la compra y venta de este producto, se debe tener en cuenta que estos deben expresar su máxima calidad organoléptica. Es decir que se deben coleccionar maduros para su comercialización, pero, si desde su misma cosecha este producto hortícola está muy maduro, se empieza a reducir la vida postcosecha del fruto. Es ahí un obstáculo, porque este tipo

de tomate, empieza a presentar problemas, no solo por el tiempo reducido que demanda, sino por los patógenos que, de una u otra forma, lo atacaran en su postcosecha. (Moreira Sobreira et al., 2009)

Es por ello, que en la postcosecha es crucial analizar las causas de pérdida, entre las cuales se destacan las mecánicas, físicas y biológicas (fitopatógenos). Esta evaluación proporcionara información que permite determinar el control y manipulación del producto después de la cosecha, para analizar consecuentemente el uso de métodos preventivos con el fin de garantizar que el producto hortícola este en las óptimas condiciones al momento de su venta o consumo (García Murillo, 2015).

Entre las causas mecánicas, se encuentran aquellas derivadas por la intervención del hombre, las cuales inciden significativamente en la degradación de la calidad del producto. En primera instancia se presentan los cortes o perforaciones, originados por la penetración del embalaje a través de objetos agudos o astillas dentro de los contenedores. Otra causa reside en los impactos (golpes) los cuales surgen desde la puesta en marcha o detención brusca del vehículo, hasta la manipulación inadecuada durante el embalaje o desembalaje de los productos del medio de transporte (Menacho, 2014). Asimismo, la compresión y vibración afectan la hortaliza, ya que en su mayoría son contenedores endebles y grandes, sobrecargados en pilas altas, moviéndose de lado a lado por acción del vehículo (Menacho, 2014). Por último, las que provienen de lesiones por maquinaria, las cuales resultan del uso inadecuado de estas, ya sea en la fase de clasificación o empaque del producto. Todos estos causan daños físicos en los tomates, lo que conduce a la aceleración de su pudrición en la postcosecha (Garcia Murillo et al., 2023).

Por otro lado, las físicas son producidas por condiciones ambientales. Una de ellas es la exposición de la hortaliza a la luz solar directa, esto generara que el tomate se vuelva más blando, pierda agua y se descomponga más rápido. Por otro lado, está por alteraciones en la temperatura, en donde las variaciones bruscas de temperatura durante el almacenamiento o transporte pueden acelerar el proceso o deterioro del tomate. (Menacho, 2014)

Finalmente, por causas biológicas (fitopatógenos) se encuentran las enfermedades postcosecha del tomate cherry las cuales son similares a las del tomate convencional. Por lo tanto, es determinante para estos frutos, mitigar las pérdidas que aparecen después de la cosecha. Es por

ello, que las personas que manipulan frutos, deben hacerlo de manera adecuada y conocer el origen de la enfermedad de la hortaliza, ya sea si es desde su cosecha o postcosecha por medio de heridas o golpes generados en el transporte o almacenamiento por causas mecánicas y físicas. Esto con el fin de no permitir que causas biológicas como la proliferación de hongos y bacterias descompongan el producto y lo hagan no apto para el consumo humano. Así mismo, se debe tener en cuenta los niveles de pérdida que pueden ocurrir a largo plazo si no se maneja o se tiene un control adecuado para el tomate en cualquier aspecto (Manrique Torres et al., 2022)

Entre las más enfermedades postcosecha más populares por causa biológica, destaca la pudrición ácida (*Geotrichum candidum* Lk. Ex Pers) quien es un hongo habitante del suelo. Este, se disemina a través de insectos, lluvia y el viento. Que afecta al tomate en condiciones favorables de alta humedad relativa y temperaturas de 30 °C. Este afecta a frutos en almacenamiento o material descompuesto. Por otro lado, está la pudrición blanca por *R. stolonifer*, el cual es un hongo cosmopolita a nivel mundial. Este hongo fitopatógeno provoca enfermedades postcosecha que causa pérdidas económicas a gran escala debido a la descomposición y licuefacción interna, por las enzimas liberadas por los hongos. (Sinavimo, 2011). Por otro parte tenemos la pudrición negra por el fitopatógeno *Alternaria alternata*, el cual se reconoce por manchas oscuras y hundidas en los frutos, además, se encuentra en ambientes favorable en las zonas productoras, donde las condiciones climáticas y la presencia de inóculos favorecen su desarrollo (Eshel, 2000). Finalmente está el moho gris, *Botrytis cinerea*, que es un hongo necrotrófico, lo que significa que mata a su anfitrión con el fin de obtener todos los nutrientes que necesita (García Murillo, 2018). Este hongo descompone flores, hortalizas, frutos, entre otros tanto en su cosecha o postcosecha cuando la hortaliza tiene una herida y tiende hacerlo en temperaturas desde los 6°C a 22°C. (Calle, 2019)

4.1.1. *Botrytis cinerea*

La enfermedad es conocida coloquialmente como moho gris y se desarrolla en muchos cultivos alrededor del mundo, por lo que se considera un hongo cosmopolita. Este fitopatógeno, ocasiona pérdidas económicas tanto a campo abierto como invernadero por medio de heridas en las frutas, hortalizas, plantas, entre otros. Las estadísticas indican que *Botrytis sp.* causa una pérdida económica de 10 a 100 mil millones de dólares en todo el mundo (Guo et al., 2023). La palabra

raíz del nombre “Botrytis” proviene del griego “botryose” y hace referencia a los racimos de esporas (Matute, 2019)

La clasificación taxonómica de *Botrytis sp.* según Williamson (2007) es la siguiente:

Tabla 1. Clasificación Taxonómica de *Botrytis cinérea*

Clasificación Taxonómica	
Nombre común	Moho Gris
Nombre científico	<i>Botrytis cinerea</i>
Reino	<i>Fungí</i>
Clase	<i>Ascomycetes filamentosos</i>
Subclase	<i>Deuteromycetes</i>
Género	<i>Botrytis</i>
Especie	<i>Botrytis cinerea</i>

Fuente: Williamson (2007)

Este hongo se destaca por su agresividad como patógeno, ya que tiene la capacidad de infestar más de 200 plantas hospederas (Matute, 2019). Puede desarrollarse y propagarse en tejidos dañados o muertos de la fruta, vegetales y otras plantas en su mayoría. Su principal medio de propagación es a través de esporas asexuales o conidios, los cuales tienen la capacidad de dispersarse por medio del aire, ser transportadas por salpicaduras de agua y ser distribuidas por actividad física o mecánica (Matute, 2019). Asimismo, es capaz de producir esclerocios, que son estructuras de resistencia para proteger al patógeno de condiciones climáticas desfavorables o adversas. (Caiza, 2013)

Por consiguiente, este fitopatógeno tiene la capacidad de crecer a una humedad relativa de 90% y un rango de temperatura de 0°C a 30°C, con un óptimo de 18 y 23°C para que se desarrolle adecuadamente, esporule, libere y germine sus conidios para producir la infección (Caiza, 2013). No obstante, incluso a temperaturas cercanas a los 0°C y 10°C causa pérdidas considerables en recolecciones de cultivos que se han mantenido durante periodos prolongados. Por otro lado, resulta inusual que *Botrytis sp.* penetre a través de sus conidios germinadas en los tejidos que exhiben un crecimiento activo, ya que generalmente tiende a colonizar y afectar con mayor frecuencia a plantas o partes vegetales que presenta algún tipo de heridas o daño previo. Sin

embargo, para sobrevivir, lo puede hacer este patógeno estar como micelios y/o conidios durante periodos largos en restos de cultivos (Williamson et al., 2007).

Este patógeno, además, produce enzimas como la pectinasa, poligalacturonasa y celulasas que degradan y absorben nutrientes, estas a su vez se expanden dentro del tejido celular permitiendo al hongo abrirse paso a su hospedero. Además, genera toxinas como botriomina que puede inhibir el crecimiento de otros microorganismos y le genera ventajas al patógeno. No obstante, otros compuestos de bajo peso molecular como el ácido oxálico. Lo que hacen que este organismo induzca al huésped a una muerte celular programada (Williamson et al., 2007). Además, provoca una pudrición suave en la mayoría de áreas o partes de las plantas en la cosecha y la pudrición de verduras, frutas y flores en la postcosecha para producir conidióforos grises que se destacan de la enfermedad.

Una característica de *Botrytis sp.* es que al ser un fitopatógeno cosmopolita, los factores predisponentes en donde se puede desarrollar son múltiples en la postcosecha. Ya que puede propagarse por factores mecánicos en lesiones de frutos, ya sea por golpes, magulladuras o cortes, que dan entrada al patógeno. También incide muchos factores físicos como la humedad alta y temperaturas moderadas que son óptimas para el crecimiento de este. (Williamson et al., 2007). Asimismo, puede desarrollarse en condiciones de almacenamiento del fruto inadecuadas, en donde haya poca ventilación o altas densidades de empaque que limitan la circulación del aire. Incluso este en la postcosecha pudo haberse desarrollado por un manejo inadecuado desde la cosecha del fruto o la hortaliza. Es por ello que, para evitar y prevenir el desarrollo de este patógeno, es fundamental mantener prácticas y métodos de control los cuales proporcionaran estrategias para reducir el riesgo y evolución del fitopatógeno.

4.1.1.1. Métodos de Control de *Botrytis cinerea*

Entre las estrategias destacadas para analizar y describir los controles hacia *Botrytis cinerea* se establecen metodologías de inspección que incluyen: control químico, físico y biológico. Con el propósito de observar el manejo de la enfermedad que se le da desde distintos ámbitos y así mismo divisar cual genera la disminución de pérdidas, tanto para que el agricultor como el consumidor final. Por otro lado, se busca que estos alcancen los niveles óptimos de rentabilidad, y así mismo mitiguen daños tanto a la salud humana como al medio ambiente (García Murillo, 2019).

El control químico, está justificado principalmente tanto al uso de fungicidas y agroquímicos, donde se ha consolidado como el medio más usado en la actualidad en el desarrollo de la agricultura. Los plaguicidas desempeñan un papel crucial en la mejora y ejecución de esta actividad. Resultan imprescindibles en la agricultura moderna, ya que cumplen la función de regular todo tipo de patógenos que puedan afectar el desarrollo adecuado de los cultivos, erradicando malezas, insectos, hongos, virus y bacterias (Bedmar, 2011). Por consiguiente, es importante aclarar que no todos cumplen la misma función, ya que algunos son preventivos y se aplican antes de observar síntomas y signos de la enfermedad, mientras que otros son curativos y se aplican cuando ya está establecida la enfermedad.

Colombia es uno de los pocos países con excelentes condiciones climáticas que favorecen la constante aplicación de la agricultura y esto es debido principalmente por la ubicación geográfica en donde se encuentra, la cual está llena de llanuras, áreas montañosas, cuencas hídricas que van de la mano con una gran cantidad de recursos naturales. Debido a estas condiciones, se empezó a utilizar plaguicidas a tan solo casi dos décadas de su gran auge justo después de la segunda guerra mundial, empezando a distribuirse en el año 1962 con el proceso de formulación, el cual consiste en mezclar uno o más ingredientes activos importados, con solventes y coadyuvantes, y envasarlos o empacarlos para la venta al público. Sin embargo, de la misma manera en que lo hacen la mayoría de países del mundo, Colombia ignora los impactos ambientales y de salud pública que estos generan, pasado por alto los múltiples impactos negativos que estos productos químicos generan en el suelo, el agua, las cadenas tróficas, los ecosistemas y la salud humana (Sharma et al., 2019). Junto a ello, debido al incremento de habitantes a nivel nacional y universal, estos productos químicos siguen incrementando su uso en la agricultura con el objetivo de cumplir con la demanda alimentaria que supone un incremento en la población mundial (Lindquist, 2008).

Por un lado, cuando se habla de los efectos negativos de los plaguicidas en la salud humana, estos efectos varían según la duración y el nivel de exposición. La exposición puede ocurrir en labores agrícolas, industriales o por uso doméstico, y se clasifica en aguda, crónica y medioambiental. Las exposiciones aguda y crónica son las más perjudiciales para la salud humana y generalmente afectan a las personas involucradas en la formulación, almacenamiento, transporte, mezcla o disposición final de los plaguicidas. La exposición medioambiental se refiere a las personas expuestas a los plaguicidas a través del agua, el aire, los alimentos contaminados o la

aplicación domiciliaria. (Ministerio de salud, 2011). Esta exposición a los plaguicidas puede llegar a causar enfermedades cancerígenas, disminución de la fertilidad, daños a órganos y nervios, pérdida de conciencia (FAO, 2003). Los plaguicidas también pueden ocasionar enfermedades específicas, como el asma, debido a la irritación, inflamación y alteración endocrina que generan en el cuerpo. Además, la exposición a plaguicidas organofosforados, dibenzodioxinas, dibenzofuranos policlorados y varios organoclorados como el oxiclororden, trans nonachlor, hexaclorobenceno y hexaclorociclohexano pueden desarrollar una diabetes tipo II con sus comorbilidades. Estos productos químicos también están relacionados con trastornos neurodegenerativos, como el Parkinson, que afecta a pacientes jóvenes sin antecedentes familiares de la enfermedad, especialmente debido al uso de insecticidas, fungicidas y herbicidas. (González Ulibarry, 2019)

Por otro lado, según el icónico libro "Primavera silenciosa" de Rachel Carson, los plaguicidas tienen un impacto significativo en las cadenas tróficas y su funcionamiento natural. Estos productos químicos alteran el equilibrio de los ecosistemas y afectan a los organismos que dependen de las interacciones alimentarias para sobrevivir.

Uno de los principales efectos es la bioacumulación de plaguicidas a lo largo de la cadena alimentaria. Cuando los plaguicidas se utilizan en los cultivos, se dispersan en el medio ambiente y son absorbidos por las plantas. Los herbívoros que se alimentan de estas plantas ingieren los plaguicidas acumulados en sus tejidos. A medida que estos herbívoros son consumidos por carnívoros u otros depredadores, los plaguicidas se acumulan aún más en los niveles superiores de la cadena trófica, este proceso de bioacumulación puede llevar a concentraciones peligrosamente altas de plaguicidas en los depredadores tope de la cadena trófica, como aves rapaces o mamíferos carnívoros. Estos animales pueden sufrir efectos adversos en su salud, como disminución de la fertilidad, trastornos hormonales, debilitamiento del sistema inmunológico y disminución de la capacidad de reproducción. Además, los depredadores que dependen de presas contaminadas con plaguicidas pueden experimentar un deterioro general de su estado de salud. La acumulación de plaguicidas en los depredadores tope también puede tener consecuencias en cascada en el ecosistema ya que cuando los depredadores se ven afectados, sus presas pueden experimentar un aumento descontrolado de población, lo que a su vez puede desencadenar un desequilibrio en el ecosistema y afectar a otras especies y funciones ecológicas. (Carson, 1962).

Esta acumulación de químicos en el ambiente también está relacionada directamente con los periodos de carencia los cuales son el tiempo que debe transcurrir entre la última aplicación de un producto fitosanitario y la cosecha del cultivo. En los cultivos es importante respetar estos periodos de tiempo ya que los productos químicos utilizados en la agricultura pueden dejar residuos en los cultivos que pueden ser perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Según la FAO, “los residuos de plaguicidas en los alimentos son una preocupación importante para la salud pública”. Es conveniente reducir el uso de fungicidas para obtener niveles residuales más bajos, lo cual es importante porque los fungicidas aplicados precosecha se degradan más rápidamente que los aplicados postcosecha. El problema de la residualidad es que los fungicidas pueden dejar residuos de productos químicos en los cultivos que pueden ser perjudiciales para la calidad y vida útil de los cultivos, así como la eficacia de los tratamientos postcosecha. (Montesinos, 2004)

Ya si se habla de la contaminación en fuentes hídricas y el suelo, en el tratado de las Naciones Unidas realizado en mayo de 2001 en Estocolmo, Suecia, se prohibieron varias sustancias orgánicas tóxicas que tienen la capacidad de persistir y bioacumularse en el entorno, generando efectos adversos tanto en el medio ambiente como en la salud humana. Sin embargo, a pesar de estas prohibiciones, muchas de estas sustancias siguen siendo ampliamente utilizadas en todo el mundo, pues se emplean en la creación de plaguicidas, herbicidas y fungicidas. Estas sustancias, aunque están prohibidas, siguen siendo parte de las 12 sustancias tóxicas más utilizadas en el mundo. (Gil, 2012). Lo cual demuestra una incapacidad científica para desarrollar sustancias químicas “amigables” con el medio ambiente. El continuo uso de estas sustancias genera un deterioro en los suelos de todo el mundo causando una reducción significativa de la fertilidad del suelo y la pérdida de cultivos. El suelo es considerado como un recurso natural no renovable debido a que su formación tarda miles de años, debido a que está compuesto por una mezcla de minerales, materia orgánica, agua y aire que con ayuda de una temperatura y una presión específica otorga al ecosistema la capacidad de almacenar variedad de nutrientes y materia orgánica de diferentes especies en miles de años (Izquierdos, 2017). Lo cual nos lleva a que la contaminación del suelo por parte de los plaguicidas como los fungicidas, herbicidas, etc. más que contaminar solo el término “suelo” está contaminando diferentes servicios ecosistémicos que nos otorga este mismo, los cuales van desde el almacenamiento de miles de nutrientes, regulación climática, reciclaje de desechos actuando como descomponedor, aporte al ciclo del agua y filtración de esta, hábitat de biodiversidad, etc.

La presencia de plaguicidas en las fuentes hídricas se puede atribuir por aplicación directa debido al lavado de los instrumentos utilizados para la aplicación del plaguicida o también pueden darse de manera indirecta llegando por escorrentía después de la aplicación en los suelos, uno de los impactos más relevantes generados por la presencia de funguicidas en fuentes hídricas es la toxicidad debido a su potencial para afectar negativamente la vida acuática y los ecosistemas en general. Los fungicidas, diseñados para eliminar hongos y enfermedades en los cultivos, pueden tener efectos perjudiciales en organismos no objetivo presentes en los cuerpos de agua, la toxicidad de los fungicidas en el agua se deriva de su capacidad para interferir con los sistemas biológicos y bioquímicos de los organismos acuáticos (Ongley, 1997). Algunos fungicidas actúan afectando los sistemas nerviosos de los organismos, como los canales iónicos y los receptores de neurotransmisores. Al modular la actividad de estos componentes, los fungicidas pueden afectar la transmisión de señales eléctricas a lo largo de las neuronas interfiriendo con la transmisión de señales eléctricas y provocando efectos neurológicos adversos. Otros fungicidas pueden afectar el funcionamiento de las membranas celulares, desencadenando desequilibrios iónicos y alterando el equilibrio osmótico de los organismos. Los efectos de la toxicidad pueden variar según el tipo de fungicida y la sensibilidad de las especies. Los organismos más susceptibles pueden mostrar síntomas visibles de estrés, como comportamiento anormal, dificultades en la alimentación y crecimiento reducido. En casos extremos, la toxicidad puede provocar la muerte de organismos acuáticos. (Schäfer, 2011)

Finalmente, un problema que se percibió al hacer uso constante de fungicidas en la agricultura, para el caso de *Botrytis*; ha sido conocida por volverse resistente a estos productos químicos a razón de su variabilidad genética, la producción abundante de esporas y desarrollo de enfermedades (Matute, 2019). Por lo que la aplicación constante y reiterada de los mismos fungicidas en viveros y áreas de producción en general incrementa la presión selectiva y fomenta el desarrollo de resistencia. Es por ello que se han concebido programas de aspersión mixta, preferiblemente utilizando una selección de fungicidas de grupos diversos en cada aspersión. Esto con el objetivo de minimizar el riesgo de desarrollar resistencia en el campo y cumplir con los niveles máximos permitidos de residuos de cada ingrediente activo (Williamson et al., 2007)

El problema de estos, es que, al ser mixtos, gradualmente tienen que ser innovadores, Es decir, que tendrán condiciones químicas más fuertes para las plagas (hongos, bacterias, virus y

nematodos), las especies que forman parte del ecosistema, el agricultor y el consumidor final en la postcosecha. Lo que generara de no haber un control legítimo, enfermedades e intoxicaciones agudas o crónicas, síntomas de envenenamiento o incluso la muerte. (Bejarano et, 2017).

Por otro lado, si hablamos del control físico, *Botrytis cinerea* es sumamente complejo de tratar y gestionar, ya que este patógeno es cosmopolita y versátil. Tiende a manifestarse en frutas frescas, así como en plantas ornamentales, hortalizas, entre otros productos, ya que son tejidos vivos sujetos a cambios continuos después de la cosecha. Si bien es cierto que los cambios postcosecha en productos frescos no pueden ser detenidos, estos pueden ser desacelerados dentro de ciertos límites. (Kader, 1992). Por consiguiente, entender los factores ambientales y mecánicos involucrados en el desarrollo de este patógeno son importantes para mantener el producto en el mejor estado posible, cuando llegue al consumidor final.

Por esta razón, comprender la necesidad de desarrollar tecnologías basadas en el uso de tratamientos físicos genera interés a nivel agronómico y comercial, pues se hace con el propósito de disminuir la aplicación de agroquímicos en los alimentos, que es una barrera que ha dado resultados, pero genera problemas relacionados en el cultivo, el ecosistema y la salud humana (Yahia, et al., 2001). Por ello, se debe pensar en alternativas sostenibles para extender la vida útil del producto comercial y que este no conlleve un problema en su preservación. Algunos ejemplos son con el uso de atmósferas modificadas y controladas, bajas temperaturas y el uso de luz UV tipo C, los cuales son métodos reportados para el control del moho gris en condiciones de transporte y almacenamiento.

En primer lugar, se destacan las atmósferas modificadas (AM) las cuales se refieren al uso de cualquier ambiente con una atmósfera diferente al aire normal (20-21% de O^2 , 78-79% N^2 , 0.03% O^2 , y otros gases) (Yahia, et al., 2001). Por otro lado, tenemos las atmósferas controladas (AC) las cuales son controladas durante el periodo de almacenamiento o transporte. Ambas, tanto la AM/AC son tecnologías basadas en la creación de entornos con niveles reducidos de O^2 y/o concentraciones elevadas de dióxido de carbono (CO^2). Aunque gases como monóxido de carbono (CO), etileno, propileno, entre otros pueden ser también manipulados (Yahia, et al., 2001).

Estas tecnologías, ofrecen múltiples beneficios y ventajas para la conservación de productos hortofrutícolas tales como: retrasar el proceso de maduración y envejecimiento para prolongar la

vida en la postcosecha. Prevenir y/o controlar algunos desordenes fisiológicos (fisiopatías) como el daño por el frío, el escaldado, entre otros (Yahia, et al., 2001). Además, controlan o previenen enfermedades y deterioros provocados por microorganismos, regula plagas de insectos y conserva la calidad y el valor nutricional de frutas y hortalizas. No obstante, un problema de la AC, es que la mayoría de las frutas tropicales no son almacenados en esta debido a factores que inciden en los frutos como la sensibilidad al daño por frío y la proliferación de enfermedades o daños ocasionadas por microorganismos. Lo que propicia que estos productos tengan una aceptación baja a atmosferas muy húmedas. (Yahia, et al., 2001)

Por otro lado, en control de bajas temperaturas por medio de la refrigeración, sigue siendo la tecnología más importante en la preservación de los productos comerciales. Para el manejo postcosecha de productos frescos como las frutas y verduras medianamente poco maduras y con menos heridas se busca su comercialización en cadena frío. Pues varios sistemas de defensas de las plantas todavía operan en los tejidos del huésped en esta etapa. Si la temperatura en el transporte se controla, se puede reducir los daños causados por el hongo gris *Botrytis sp.* a la hora de comercializar el producto (Williamson et al., 2007). Por otro lado, la refrigeración tiene ventajas como la reducción de velocidad metabólica de alimento; reduce la síntesis y acción del etileno; y controla varios insectos y microorganismo en un determinado tiempo. (Yahia, et al., 2001)

En cuanto al uso de luz UV-C, se ha empleado en diferentes alimentos como un método de desinfección superficial a temperatura ambiente en la postcosecha. Tiene la cualidad y capacidad de no dejar residuos en productos, lo cual lo hace valioso para la conservación de alimentos y plantas (Rivera et al., 2007). Se le atribuyen efectos beneficiosos como la inducción de mecanismos de defensa, los cuales se relacionan con la resistencia a diversos patógenos entre los cuales *botrytis sp.* aplica a dosis adecuadas de luz UV-C, por lo tanto, la hace efectiva para matar esporas y hongos, ayuda con la reducción de desórdenes fisiológicos durante el almacenamiento en frío e inactivación de enzimas vinculadas con los procesos de maduración y senescencia (Rivera et al., 2007). Es importante destacar que es de bajo costo, sin embargo, su principal problema es que al no tenerse precaución la exposición directa a la radiación podría afectar la salud humana.

Finalmente tenemos el control biológico, el cual se entiende como una tecnología limpia para limitar la acción perjudicial de plagas y enfermedades. Es valiosa en la agricultura sostenible,

debido a que está perfilado como una alternativa promisoriosa del uso de fungicidas tradicionales, no supone riesgos para la salud, su aplicación no es una práctica compleja y promueve la conservación de la biodiversidad agrícola al fomentar la presencia de enemigos antagónicos naturales en los ecosistemas. Sin embargo, su efectividad puede variar según el conocimiento técnico en el proceso de aplicación, las condiciones locales y el organismo a controlar

Es estudiado en frutas, hortalizas, ornamentales y plantas con heridas, en donde hongos patógenos como *Botrytis sp.* afectan el desarrollo del cultivo y perjudican su comercialización ya que este genera el moho gris. Sin embargo, el tratamiento y control para un fitopatógeno como este en la postcosecha es complejo, incluso aún para un biofungicida, pues estos a pesar de que se han usado durante años no han sido eficientes porque el patógeno desarrolla cepas resistentes, por ende, se encuentra en el tomate, fresa, uva y 1400 especies en plantas, además infecta flores, frutos, tallos, hojas, entre otros. De acuerdo a esto, es la principal causa de pérdidas agrícolas postcosecha. (Guo et al., 2023). No obstante, es por eso que se desarrolla el control biológico por medio de algunas levaduras como antagonistas e inhibidoras del crecimiento del patógeno. Se han descrito diversidad de hongos (*Trichoderma spp.*, *Coniothyrium spp.*, *Mucor spp.*, *Penicillium spp.*, *Verticilium spp.*) bacterias y nematodos como potenciales antagonistas de este fitopatógeno tanto en campo como postcosecha. (Matute, 2019).

En este contexto, las levaduras se presentan como organismos idóneos para el control biológico de patógenos en la postcosecha. Esto se debe a que, en su mayoría, pueden ser fácilmente aisladas tanto de frutas y hortalizas como microorganismos epífitos habituales, y en otros casos, como microorganismos endófitos de muchas especies de plantas (García, 2023). Estas, al igual que *Botrytis*, son altamente antagonistas y cosmopolitas, por lo tanto, se pueden ubicar y establecer en heridas, y se busca que brinden protección a los productos comerciales como las frutas y las hortalizas.

Las levaduras al adaptarse al mismo medio donde el patógeno puede proliferar tienen la capacidad de establecer diferentes modos de acción para sobrevivir e inducir resistencia al hospedero. Estos mecanismos hacen que las levaduras compitan por espacio y nutrientes, produzca metabolitos antibióticos, promuevan la inactivación de enzimas del agente infeccioso en las heridas y son capaces resistir bajos rangos de temperatura (Matute, 2019). Un estudio determinó

el control biológico de una levadura antagonista endófito del kiwi con efecto biocontrolador de *Botrytis cinerea* llamada *Vishniacozyma victoriae*. En donde los resultados demostraron que el diámetro de lesión del Kiwi inoculado con *B. cinerea* fueron de 55,16%, 50,57% y 48,07% menor que el de los inoculados por la levadura junto con *B. cinerea* que fueron de 35,18%, 32,64% y 31,07%. Ya que al día 12 los ácidos orgánicos y la carga energética de la fruta inoculada fueron 19,25% y 7,95% inferiores a los inoculados por ambas. (Nian et al., 2023). Indicando que la levadura utilizó los ácidos y la carga para colonizar la herida evitando la entrada de *B. cinerea*.

Otro ejemplo del potencial de uso de levaduras demostró el control biológico hacia *Rhizopus* sp, quien es un hongo que causa la pudrición blanda de frutas y hortalizas. El cual en un ensayo *in vitro* mediante el uso de hongos endófitos de yuca, demuestra, que dos levaduras endófitas tienen capacidades de biocontrol y sus resultados varían ya que las capacidades de estos, cambian al usar cultivos duales y cultivos de ensayo filtrado. Sin embargo, su porcentaje de antagonismo es de 50,27% y 57,44% ya que no dejan avanzar la proliferación del patógeno a estudiar. (Obiazikwor et al., 2021)

De acuerdo a los dos ejemplos planteados, el control biológico es una alternativa sostenible, económica y de fácil acceso, ya que primero brinda más seguridad al investigador, agricultor y al consumidor final y segundo busca cuidar el medio ambiente desde una alternativa innovadora (García Murillo, 2015). No obstante, a pesar de que los controles biológicos tienen la capacidad de inducir antibiosis, competencia por nutrientes con el patógeno, la limitación del control biológico es que en su mayoría es de tipo preventivo, es decir que se aplica antes de observar síntomas y signos. Por tal razón, es necesario el control químico mediante el uso de fungicidas de síntesis para el control de enfermedades patógenas.

4.2. Tecnologías limpias

En la agricultura actual, el principal objetivo es asegurar la inocuidad de los alimentos producidos, la protección del medio ambiente y proporcionar condiciones laborales adecuadas para los trabajadores (Rojas Mesa et al., 2022). Por ello, a través de la ingeniería se busca tecnologías limpias con el propósito de implementar procedimientos especiales de acuerdo a avances tecnológicos novedosos, los cuales buscan la disminución o eliminan del uso de productos

químicos en los cultivos, para proteger así mismo la naturaleza y sus especies. (Marco Brown et al., 2003)

Entre las ventajas de aplicación de tecnologías limpias, podemos añadir que son más eficaces y generan menor contaminación. Además, los sistemas implantados tienden a ser permanentes, fiables, eficaces y de alto rendimiento, por lo que siempre aumentan la productividad. (Marco Brown et al., 2003). Su objetivo es establecerse bajo los criterios ODS los cuales buscan la protección del medio ambiente, la mitigación del cambio climático, la generación de empleo y mejora en la salud pública.

4.2.1. Avances Biotecnológicos

Los avances en biotecnología agrícola son fundamentales para lograr una agricultura más sostenible, ya que permiten desarrollar cultivos más resistentes a enfermedades, condiciones ambientales adversas y herbicidas. No obstante, de igual manera se buscan plagas genéticamente modificadas para beneficio del cultivo con el fin de aumentar la productividad, mejorar la calidad de los alimentos, disminuir el laboreo y hacer que la agricultura sea más sostenible y eficiente (Marco Brown et al., 2003)

4.2.2. Control Biológico

Considerado como una tecnología limpia, la cual utiliza microorganismo u organismos vivos con el fin de controlar y contrarrestar poblaciones que generan problemas en el entorno. Esta estrategia es importante, ya que en su papel reduce residuos, no generar problemas de resistencia, no supone riesgos para la salud humana y su aplicación no es una práctica compleja. (Matute, 2019)

4.3. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

A nivel mundial se han realizado esfuerzos para impulsar la productividad agrícola sana en la cosecha y postcosecha, con reformas políticas agrarias, intensificación agrícola y otros programas transformadores los cuales aún no han logrado resultados significativos, debido a las enormes pérdidas postcosecha (Bisheko, 2023) en donde no se tiene en cuenta iniciativas para reducir la pérdida y desperdicio de alimento. Sin embargo, en la última década se ha comenzado a tener en

cuenta tecnologías limpias capaces de manipular y dar control a estos, con el fin de prever el desperdicio global.

Esto, con el fin de cumplir los ODS en donde se espera principalmente efectuar el ODS 12 (producción y consumo responsable) y brindar mejor calidad de vida a nivel minorista y de consumo (Garcia Murillo, 2020 et al., 2020). Así mismo, se pretende reducir la mitad de las pérdidas postcosecha para minimizar las pérdidas en cadenas de producción y suministro (Bisheko, 2023) y cumplir metas las cuales buscan con el ODS 1 (Fin de la pobreza), el ODS 2 (hambre cero), el ODS 3 (salud y bienestar) el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), el ODS 13 (acción por el clima) y el ODS 15 (vida en los ecosistemas terrestres) para así mismo, brindar y mejorar la disponibilidad de alimentos, disminución de gases efecto invernadero y mejorar la carga en los recursos naturales.

4.4. Marco Legal

En Colombia actualmente se trabaja bajo el sistema de inocuidad de los alimentos agrícolas. Este sistema se fundamenta mediante la implementación del esquema de buenas prácticas agrícolas (BPA), el cual es un pilar fundamental que garantiza la seguridad y calidad de los alimentos que llegan a la puerta de los consumidores (Garcia Murillo et al., 2023).

Los agricultores son los encargados de manejar y cumplir las directrices y los principios que se necesitan en la implementación de las buenas prácticas agrícolas, ya que estas juegan un papel crucial en las diferentes etapas de producción (cosecha, procesamiento, distribución y postcosecha). De no ser así, los alimentos puedan verse expuestos a diversos riesgos desde la contaminación hasta la pérdida de su calidad. (Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, 2023.)

Por otro lado, Colombia cuenta con el plan de monitoreo de residuos químicos de plaguicidas en especies vegetales. Esta es una iniciativa para garantizar la seguridad alimentaria y la salud única en el país. En este plan se tiene la participación de organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (Plan-Nacional-de-Residuos-2022) Estas organizaciones son fundamentales ya que aportan experiencia y estándares globales de calidad en materia de seguridad alimentaria, en base a esto, se crea para complementar el CONPES 3514 en el cual se

crea “La Política Nacional Fitosanitaria y de Inocuidad para las Cadenas de Frutas y Otros Vegetales” (DNP, 2008.)

Frente a los productos que son destinados para la protección de los cultivos se están dejando de lado los plaguicidas y fertilizantes con exceso de químicos, los cuales no se aplican de manera intencional para hacerle daño al hombre o a los animales, pero por gran cantidad de sustancias van dejando trazas de metales pesados (Arsénico, Cadmio, Plomo, Mercurio, Vanadio, entre otros) y residuos, los cuales no generan efectos beneficiosos en los agricultores ni en consumidores finales. En base a eso se está innovando en el uso de fertilizantes más respetuosos con el medio ambiente, como lo son los inoculantes biológicos los cuales sirven y ayudan con la nutrición de las plantas, mejorando la nutrición, sanidad, rendimiento y la adaptación directa de todos los cultivos (Silva Monsalve et al., 2022). Por otro parte, se tienen los bioinsumos agrícolas los cuales funcionan como agentes biológicos previniendo, controlando y erradicando las plagas. (Fertilizantes y Bioinsumos, n.d.)

Cabe resaltar que los fertilizantes y plaguicidas hacen parte de la estructura de costos e ingresos de los productores agropecuarios, ya que es necesario contar con un indicador que permita realizar una adecuado seguimiento y control, con el fin de detectar oportunamente las malas prácticas (*Resolución No 000389 de 2011*, 2011)

Tabla 2. Normatividad

Norma	Emisor	Objeto
Resolución 057510 De 2020	ICA- Instituto Agropecuario Colombiano	Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de departamentos técnicos para la ejecución de ensayos de eficacia de insumos agrícolas (plaguicidas químicos, bioinsumos, coadyuvantes, fertilizantes y acondicionadores de suelo)
Ley 2183 De 2022	Congreso de la República de Colombia	Por medio del cual se constituye el sistema nacional de insumos agropecuarios, se establece la política nacional i de insumos agropecuarios, se crea el fondo de acceso a los insumos agropecuarios y se dictan otras disposiciones
Resolución 000389 De 2011	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	Por lo cual se someten a la libertad vigilada algunos fertilizantes y plaguicidas de uso agrícola

Documento ICA 2022	ICA- Instituto Agropecuario Colombiano	Plan de monitoreo de residuos de plaguicidas químicos en especies vegetales en Colombia,
CN 3514 De 2008	Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia Departamento Nacional de Planeación	Política Nacional fitosanitaria y de inocuidad para las cadenas de frutas y de otros vegetales
Resolución 068370 De 2020	ICA- Instituto Agropecuario Colombiano	Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de productor, productor por contrato, envasador, importador y departamentos técnicos de ensayos de eficacia agronómica de Bioinsumos para uso agrícola; así como los requisitos para el registro de Bioinsumos para uso agrícola”

5. Materiales y métodos

La metodología utilizada para esta investigación se basa en un diseño experimental paramétrico con enfoque cuantitativo, con un estudio de tipo exploratorio (Bermúdez Rubio et al., 2021). Se realizó con el fin de evaluar la actividad biocontroladora de lavaduras, dos fungicidas químicos y un biofungicida en contra de *Botrytis sp.* de acuerdo con el estudio de (García, 2023). Fue realizada en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Santo Tomás en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia.

5.1. Microorganismos y material vegetal

Para el estudio previo del proyecto, se seleccionaron y evaluaron levaduras de banano y papaya (ambas encontradas en frutas postcosecha en la ciudad de Bogotá D.C.). Asimismo, se evaluaron levaduras de flores tomadas al azar (halladas en el patio del edificio Ángel Calatayud, de la Universidad Santo Tomás). De las cuales se trabajó con cuatro levaduras (Lv01Banano, Lv01Papaya, Lv01FlorNaranja y Lv01FlorMorada) a concentraciones de 1×10^7 células x ml^{-1} de acuerdo a una investigación similar a la del estudio (García, 2023) a temperaturas de 6°C y 20°C con el objetivo analizar si inhibían el crecimiento de *Botrytis cinerea*.

Por otro lado, los frutos de tomate que se utilizaron son tipo Cherry en estado de madurez pintón, procedentes de un comercio local de la ciudad de Bogotá D.C. Estos frutos, fueron previamente desinfectados en hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) al 1% durante 20 minutos. Luego, se enjuagaron minuciosamente con agua destilada estéril y se dejaron secar en una cámara de flujo laminar durante una hora. (García Murillo, 2023)

5.2. Preparación del inóculo de levaduras antagonistas Lv01Banano, Lv01Papaya, Lv01FlorNaranja y Lv01FlorMorada

Para la preparación y ejecución de los ensayos, se tomaron cultivos de diferentes levaduras desarrolladas en cajas de Petri con medio de agar Sabouraud (Oxoid) durante 4 días a 20°C. Estas, además, fueron suspendidas en agua destilada estéril al 0.1% ajustando la concentración de cada

levadura a 1×10^7 células x ml^{-1} por medio de un cámara de Neubauer (García Murillo, 2021). Este proceso, se hace con el fin de pasar microorganismos a viales ya ajustados, para la conservación y pureza de la levadura.

Seguido al proceso anterior, se cogen las levaduras de los viales con su respectiva concentración ajustada. Nuevamente se pasan a cajas de Petri con medio de agar Sabouraud (Oxoid) y por cada levadura se hacer 3 repeticiones tanto a 20°C como 3 repeticiones a 6°C . Esto con el fin de analizar si hay crecimiento de las levaduras a estas condiciones. Por ende, se debe analizar si Lv01Banano, Lv01Papaya, Lv01FlorNaranja y Lv01FlorMorada soportan tanto la temperatura de refrigeración como de ambiente. Esto con el fin de estimar a futuro porcentajes de protección contra *Botrytis sp.* en frutos de tomate cherry.

5.3. Preparación de los fungicidas químicos (Mertect® y Prodion®), biopláguida (Subticrop®) y levaduras

Los biofungicidas y fungicidas de control comercial para esta investigación fueron preparados en agua destilada estéril recomendadas en sus respectivas fichas técnicas (Tabla 3).

Tabla 3. Productos evaluados contra *Botrytis cinerea* para la protección del tomate cherry

Producto	Ingrediente activo	Cepa	Dosis (ml^{-1})
MERTECT® 500 SC	Tiabendazol	-	1.0
PRODION® 500 SC	Iprodione	-	1.0
SUBTICROP® SL	<i>Bacillus subtilis</i>	-	5.0
-	Levadura	Lv01 Banano	*
-	Levadura	Lv01 Papaya	*

Nota: Las suspensiones fueron ajustadas a una concentración de 1×10^7 células x ml^{-1}

5.4. Preparación del inóculo de hongo patógeno *Botrytis cinerea*

Botrytis sp. fue aislado en tomates obtenidos en un comercio aledaño a la localidad de chapinero de la ciudad de Bogotá D.C. Se reconoce su pureza e idoneidad, ya que de acuerdo a informes previos de (Cotes et al., 2018) se encuentran en cultivos añejos, el moho es grisáceo y prolifero en las lesiones de los cultivos. Además, según (García Murillo, 2023) sus estructuras morfológicas,

macroscópicas o microscópicas especialmente por los conidios y conidioforos coinciden con los indagados y analizados en el microscopio del laboratorio (García Murillo et al., 2021).

Por otro lado, en cuanto a los ensayos planteados, se hizo la respectiva incubación del patógeno a 20°C por 7 días, en cajas de Petri con medio nuevamente de agar Sabouraud (Oxoid). De aquí, se extrajo el micelio del hongo de la capa superficial del cultivo empleando un asa redonda. Por consiguiente, según (García Murillo, 2023) se debía suspender 9 ml de polisorbato 80 con una concentración ajustada al 0,1%. Esto, con el fin de filtrar la suspensión resultante en tela de algodón estéril para separar la masa micelial de los conidios para en resumen ajustar la concentración a 1×10^4 conidios $\times \text{ml}^{-1}$ por medio de un cámara de Neubauer. Seguido a esto, es importante recalcar que esta concentración es la mínima por *Botrytis sp.* tanto a 20°C y a 6°C idónea para manifestar tantos síntomas como signos en frutos de tomate Cherry pintón (García Murillo y Cotes, 2001).

5.5. Efecto de la concentración de la cepa Lv01Banano, Lv01Papaya y biogfungicidas sobre la actividad antagónica de *Botrytis cinerea* en tomate Cherry

Al tener una suspensión ajustada del antagonista a una concentración de 1×10^7 células $\times \text{ml}^{-1}$ tanto en las cepas, los biofungicidas y el control (fruto de tomate únicamente inoculado con el patógeno y agua estéril) se inocula 25 μl en los sitios de herida del tomate Cherry. Una vez inoculada la hortaliza por ambos lados, se procede a seguir lo establecido por (García, P. 2023) quien señala que se debe incubar en cámaras húmedas tanto a 20°C como a 6°C por 24 horas. Seguido a ello, pasado este tiempo se debe inocular el fitopatógeno con una suspensión de 1×10^4 conidios $\times \text{ml}^{-1}$ en los sitios de herida e incubarlos nuevamente tanto a las mismas condiciones de humedad y temperatura ya anteriormente descritas para evaluar las heridas progresivamente en el tiempo

Consecuentemente del proceso anterior, se realizará la evaluación de antagonismo otorgada por la concentración escogida en contra de *Botrytis cinerea* para cada uno de los productos a evaluar. En donde se tuvo en cuenta las curvas de los diámetros de lesión ocasionadas por el patógeno en cada tratamiento tanto a los 20°C (hasta los 7 días) y a los 6°C (hasta los 14 días) de las áreas bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) (García, P. 2023). En donde se debe tener en

cuenta que tanto a 20°C como a 6°C de acuerdo a los ABCPE se calcularon los porcentajes de antagonismo.

Este ensayo, es un diseño completamente al azar, donde cada tratamiento iba corresponder a la misma concentración anteriormente descrita, tanto en la cepa Lv01Banano o Lv01Papaya como en el fungicida químicos, los dos bioplaguicidas y en el control. En donde la unidad experimental en este caso la conformaría un tomate Cherry, a quien se le harían 10 repeticiones por tratamiento (un total de 6 productos entre levaduras, biofungicidas y el control). Por ende, además se tendría en cuenta de acuerdo a los valores obtenidos, la realización de un análisis de varianza de los porcentajes de protección obtenidos por cada producto. Y de acuerdo a esto se hace una breve comparación de cada tratamiento para mirar la eficacia de estos en el proyecto.

5.6. Tiempo de aplicación de los productos y cepas a evaluar con respecto a su actividad antagonica hacia *Botrytis cinerea*

Siguiendo el patrón anteriormente descrito, a cada tomate cherry se le hizo dos heridas de 2,5 mm de diámetro y 3 mm de profundidad a cada lado, esto con el fin de determinar la actividad biocontroladora tanto de los productos y levaduras aplicadas en la investigación. De acuerdo a García, P. (2023), una vez al inocular la concentración antagonista, pasadas las 24 horas se debe aplicar el patógeno a los tomates cherry en donde se deben incubar en cámaras húmedas tanto a 20°C como a 6°C. Una vez aparecen los síntomas de la enfermedad, ya sea en el control, las levaduras o biofungicidas, se miden los diámetros de lesión cada 24 horas a partir del día 3 hasta el día 7 para el caso de los incubados a 20°C. Por otro lado, para el caso de los incubados de 6°C a partir del día 3 se midieron cada 24 horas hasta el día 14. Con ello, a partir de los datos obtenidos, se puede realizar una evaluación de ABCPE.

6. Resultados y Discusión

6.1. Evaluación de dos fungicidas de síntesis química, un biofungicida y dos aislamientos de levaduras a 6 °C.

El tratamiento más efectivo para reducir el ABCPE de severidad fue Iprodione, con un valor de 961,10 seguido por el Lv01Banano, con un valor de 974,10. Estos tratamientos lograron disminuir el ABCPE de severidad en un 20,2% y un 19,1%, respectivamente, en comparación con el control, que tuvo un valor de 1204,60. Esto significa que Iprodione y Lv01Banano fueron capaces de limitar el daño causado por el *Botrytis cinerea* en el tejido de las frutas. Ambos tratamientos pertenecen al grupo c de la prueba de Tukey, indicando diferencias significativas con el control (grupo a) y *B.subtilis* (grupo d).

En cuanto al ABCPE de incidencia, el tratamiento más efectivo fue el Lv01Banano, con un valor de 57120, seguido por Iprodione, con un valor de 58080. Estos tratamientos lograron disminuir el ABCPE de incidencia en un 13,0% y un 11,5%, respectivamente, en comparación con el control, que tuvo un valor de 65640. Esto significa que el Lv01Banano e Iprodione fueron capaces de prevenir la infección del hongo en el número de frutas. Estos tratamientos también pertenecen al grupo c de la prueba de Tukey, indicando diferencias significativas con el control y *B.subtilis* (grupo a).

Por otro lado, el tratamiento menos efectivo para ambos indicadores fue *B.subtilis*, que no solo no tuvo ningún efecto sobre el hongo, sino que lo favoreció. *B.subtilis* tuvo los valores más altos de ABCPE de severidad y de incidencia, lo que indica que el hongo se desarrolló más y causó la mayor cantidad de podredumbre gris en los tomates. Este tratamiento pertenece al grupo d de la prueba de Tukey para el ABCPE de severidad, indicando diferencias significativas con Iprodione y el Lv01Banano (grupo c), y al grupo a de la prueba de Tukey para el ABCPE de incidencia, indicando diferencias significativas con Iprodione y Lv01Banano (grupo c).

El tratamiento que tuvo un efecto mixto fue Lv01Papaya, que logró reducir el ABCPE de severidad en un 7,8%, pero no tuvo ningún efecto sobre el ABCPE de incidencia. Esto podría deberse a que el Lv01Papaya tiene algún componente que inhibe el crecimiento del hongo, pero

no su propagación. Este tratamiento pertenece al grupo b de la prueba de Tukey para ambos indicadores, indicando que no tiene diferencias significativas con el control (grupo a) ni con Tiabendazol (grupo b).

Finalmente, los tratamientos que tuvieron un efecto similar fueron Iprodione y el Lv01Banano, que redujeron ambos indicadores en porcentajes similares, y Tiabendazol, que no tuvo ningún efecto sobre ninguno de los indicadores. Esto podría deberse a que Iprodione, Lv01Banano y Tiabendazol tienen algún componente que actúa de forma general sobre el hongo, sin afectar a ningún aspecto específico. Estos tratamientos pertenecen al grupo c de la prueba de Tukey para el ABCPE de severidad, indicando que no tienen diferencias significativas entre ellos ni con el Lv01Papaya (grupo b), y al grupo b de la prueba de Tukey para el ABCPE de incidencia, indicando que no tienen diferencias significativas entre ellos ni con el Lv01Papaya (grupo b).

Es importante señalar que estos datos son mayores a los de 20°C debido a que al estar en refrigeración se pudieron realizar más mediciones, haciendo que los dos índices de ABCPE den resultados mayores. Además, al tener condiciones de refrigeración, los tratamientos pudieron variar con respecto a la inhibición de *B. cinerea*, ya que el hongo podría tener una menor o mayor actividad a bajas temperaturas

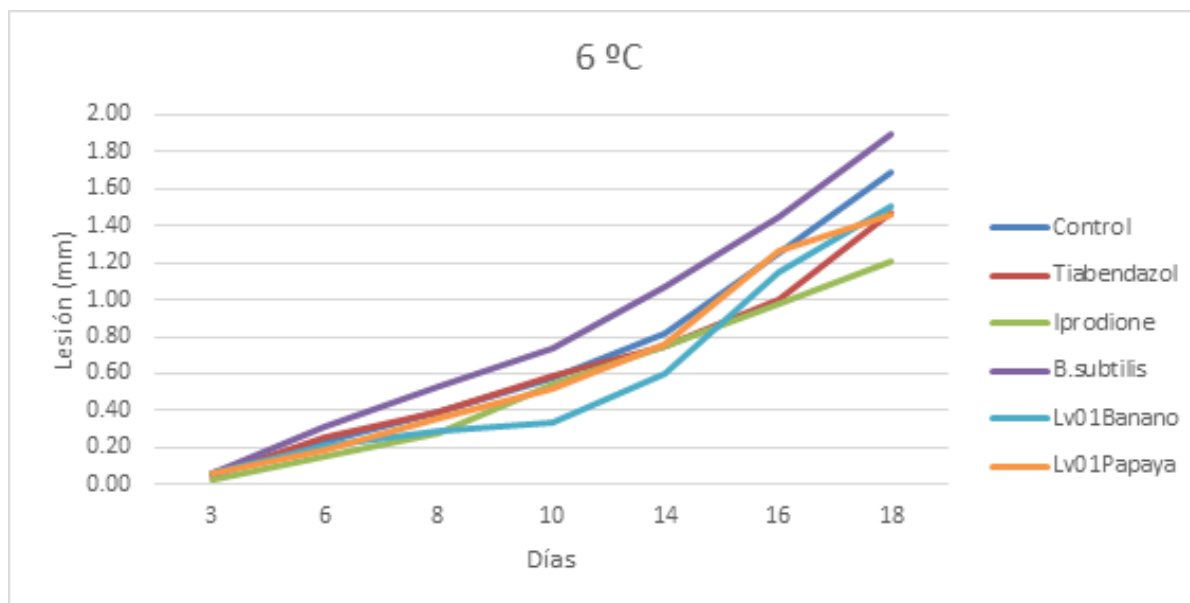
Tabla 4. Valores de ABCPE de la severidad representados como longitud de lesión y ABCPE de la incidencia de frutos de tomate correspondiente a heridas con presencia de signos por *Botrytis sp.* a 6 °C.

Tratamiento	ABCPE severidad (Lesión mm)	ABCPE incidencia (número de heridas con signos del patógeno)
<i>B. subtilis</i>	1476.80 a	66600.00 a
Control	1204.60 a	65640.00 a
Lv01Papaya	1110,90 b	66360.00 a
Tiabendazol	1086.80 b	60480.00 bc
Lv01Banano	974.10 c	57120.00 c
Iprodione	961.10 c	58080.00 c

Nota: Los tratamientos con la misma letra de ABCPE, tanto de severidad como de incidencia, no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de tratamiento de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

En la figura 1 evidenciamos el crecimiento en milímetros de los tratamientos y el control a lo largo de 18 días. En donde observamos un comportamiento similar en todos los tratamientos aproximadamente hasta el día 7, sin embargo, a partir del día 8 los diámetros de lesión empezaron a variar obteniendo 1,90 mm para *B. subtilis*, 1,70 mm para el control, 1,50 mm para Lv01Banano, 1,47 mm para Lv01Papaya y Tiabendazol y finalmente 1,21 mm para Iprodione

Figura 1. Crecimiento de *Botrytis sp.* con tratamientos de control, dos productos químicos (Tiabendazol e Iprodione), un biofungicida (*B. subtilis*) y dos levaduras (Lv01Papaya y Lv01Banano) a 6°C



6.2. Evaluación de dos fungicidas de síntesis química, un biofungicida y dos aislamientos de levaduras a 20 °C.

El tratamiento más efectivo para reducir el ABCPE de severidad fue el *B. subtilis*, con un valor de 442,20, seguido por Lv01Banano, con un valor de 443,00. Ambos tratamientos lograron una disminución del ABCPE de severidad en un 9,8% y un 9,6%, respectivamente, en comparación con el control, que registró un valor de 490,01. Estos resultados indican que tanto *B. subtilis* como el *Lv01Banano* fueron eficaces para limitar el daño causado por el hongo en el tejido de las frutas.

En cuanto al ABCPE de incidencia, el tratamiento más efectivo fue Iprodione, con un valor de 12,143, seguido por el Tiabendazol, con un valor de 71,040. Estos tratamientos lograron una disminución del ABCPE de incidencia en un 85,1% y un 13,0%, respectivamente, en comparación

con el control, que tuvo un valor de 81,600. Esto demuestra que el Iprodione y el Tiabendazol fueron capaces de prevenir la infección del hongo en los tomates.

Por otro lado, el tratamiento menos efectivo en ambos indicadores fue el control, que no tuvo ningún efecto sobre *B. cinerea*. El control presentó los valores más altos de ABCPE de severidad e incidencia, lo que evidencia que el hongo se desarrolló sin restricciones y causó una mayor cantidad de podredumbre gris en los tomates.

En cuanto a la papaya, este tratamiento tuvo un efecto mixto. Redujo el ABCPE de severidad en un 2,4%, pero no tuvo ningún efecto sobre el ABCPE de incidencia. Esto podría deberse a que la papaya posee componentes que inhiben el crecimiento del hongo, pero no su propagación (Palumbo, 2022).

Los tratamientos que tuvieron efectos similares fueron el Lv01Banano y el *B. subtilis*, ya que redujeron el ABCPE de severidad en casi el mismo porcentaje, pero no tuvieron ningún efecto sobre el ABCPE de incidencia. Esto sugiere que tanto Lv01Banano como *B. subtilis* tienen componentes que protegen el tejido de las frutas, pero no su superficie (Ahmad, 2019).

Complementando con la prueba de Tukey para el ABCPE de severidad, se pueden identificar cuatro grupos diferentes: el grupo a (control), el grupo b (Lv01Papaya), el grupo c (Iprodione y Tiabendazol), y el grupo d (Lv01Banano y *B. subtilis*). Esto confirma *B. subtilis* y Lv01Banano fueron los tratamientos más efectivos para reducir el ABCPE de severidad, mientras que el control fue el menos efectivo. Para el ABCPE de incidencia, también hay cuatro grupos diferentes: el grupo a (control y Lv01Banano), el grupo b (*B. subtilis*), el grupo c (Lv01Papaya y Tiabendazol), y el grupo d (Iprodione). En este caso, Iprodione resultó ser el tratamiento más efectivo, mientras que el control y Lv01Banano fueron los menos efectivos.

Tabla 5. Valores de ABCPE de la severidad representados como longitud de lesión y ABCPE de la incidencia de frutos de tomate correspondiente a heridas con presencia de signos por *Botrytis sp.* a 20 °C.

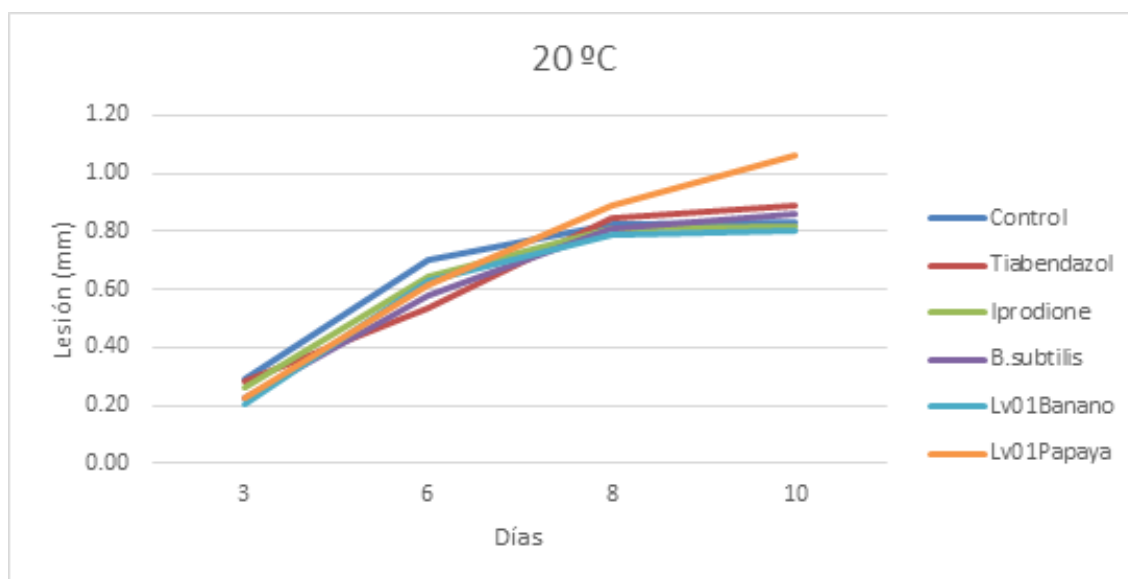
Tratamiento	ABCPE severidad (Lesión mm)	ABCPE incidencia (número de heridas con signos del patógeno)
Control	490.01 a	81600.00 a
Lv01Papaya	478.00 b	72960.00 c
Iprodione	464.21 bc	12143.00 d

Tiabendazol	459.10 c	71040.00 bc
Lv01Banano	443.00 d	81600.00 a
<i>B. subtilis</i>	442.20 d	78720.00 b

Nota: Los tratamientos con la misma letra de ABCPE, tanto de severidad como de incidencia, no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de tratamiento de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

En la figura 2 evidenciamos el crecimiento en milímetros de los tratamientos y el control a lo largo de 10 días. En donde observamos un comportamiento similar en todos los tratamientos aproximadamente hasta el día 5, sin embargo, a partir del día 6 los diámetros de lesión empezaron a variar obteniendo 1,15 mm para Lv01Papaya, 0,90 mm para el Tiabendazol, 0,86 mm para *B. subtilis*, 0,84 mm para el control, 0,82 para Iprodione y finalmente 0,80 mm para Lv01Banano

Figura 2. Crecimiento de *Botrytis sp.* con tratamientos de control, dos productos químicos (Tiabendazol e Iprodione), un biofungicida (*B. subtilis*) y dos levaduras (Lv01Papaya y Lv01Banano) a 6°C



6.3. Discusión.

6.3.1. Iprodione

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que Iprodione tiene una eficacia variable para inhibir el crecimiento de *B. cinerea* en función de la temperatura. A una temperatura de 6°C, Iprodione fue el mejor tratamiento para controlar *B. cinerea*. mientras que, a una temperatura de 20°C, fue uno con más bajo rendimiento. Esto podría deberse a que Iprodione tiene una mayor

actividad fungicida a bajas temperaturas, ya que inhibe la síntesis de ácidos grasos y la respiración celular del hongo. Sin embargo, a altas temperaturas, Iprodione podría perder su efectividad, ya que el hongo podría activar mecanismos de resistencia, como la sobreexpresión de genes de detoxificación o la alteración de la permeabilidad de la membrana. (Sansone et al., 2015)

Estos hallazgos son consistentes con los reportados por Arras et al. (2005), quienes encontraron que una cepa de *B. cinerea* resistente Iprodione causó más daño en manzanas que una cepa sensible al Iprodione. Los autores sugirieron que el Iprodione solo era capaz de controlar la cepa sensible Iprodione, pero no la resistente. Por lo tanto, se podría inferir que Iprodione tiene una eficacia limitada para el control de *B. cinerea*, especialmente a altas temperaturas, donde el hongo podría desarrollar o expresar resistencia al fungicida. (Sansone et al., 2015)

Por esta razón, se recomienda explorar otras alternativas para el control de este fitopatógeno, como el uso de agentes de biocontrol, que son organismos vivos que pueden suprimir el crecimiento o la infección de otros organismos patógenos. Arras et al. (2005) evaluaron el uso de una cepa de levadura (*Rhodotorula glutinis* y SL 30) en combinación con un sideróforo (ácido rodotorúlico) para el control postcosecha de una cepa de *B. cinerea* resistente Iprodione en manzana. Los autores demostraron que la levadura y el sideróforo tenían un efecto sinérgico que reducía el daño causado por *B. cinerea* en las manzanas, sin dejar residuos de fungicidas sintéticos en la fruta o en el medio ambiente. Estos resultados indican que el uso de agentes de biocontrol podría ser una estrategia efectiva y sostenible para el manejo del patógeno, independientemente de la temperatura o la sensibilidad Iprodione. (Sansone et al., 2015)

6.3.2. *Bacillus subtilis*

Los resultados mostraron que el Iprodione y la levadura extraída del banano (Lv01Banano) fueron los tratamientos más efectivos para reducir ambos indicadores a ambas temperaturas, mientras que *B. subtilis* fue el tratamiento menos efectivo, e incluso favoreció el desarrollo del hongo a 6 grados centígrados, sin embargo, *B. subtilis* fue el mejor tratamiento a 20 grados centígrados esto debido a la temperatura a la cual es óptimo el crecimiento de *B. subtilis*. Estos hallazgos son consistentes con los reportados por El-Mohamedy en 2017, quienes encontraron que *B. subtilis* redujo significativamente la incidencia y la severidad de las enfermedades causadas por *B. cinerea* y *R. stolonifer* en fresas a 4°C, pero no a 20°C. Los autores sugirieron que el efecto de

B. subtilis variaba según la temperatura de almacenamiento, ya que el hongo tenía una menor actividad a bajas temperaturas, mientras que la bacteria tenía una mayor tolerancia al frío. Los autores también mencionaron que la temperatura óptima de crecimiento de *B. subtilis* podía variar entre 20°C y 55°C, dependiendo de la cepa y el medio de cultivo. Además, los autores plantearon la hipótesis de que *B. subtilis* podría tener algún efecto estimulante sobre el crecimiento del hongo a altas temperaturas, lo que podría explicar por qué el biofungicida fue menos efectivo a 20°C. (Jiménez, 2017)

Estos resultados indican que el uso de *B. subtilis* como biofungicida para el control de *B. cinerea* a 6°C no es una estrategia adecuada, especialmente a bajas temperaturas, donde el hongo podría tener una mayor actividad y resistencia, y la bacteria podría tener una menor eficacia o incluso un efecto contrario.

6.3.3. Tiabendazol

El Tiabendazol es un fungicida y antiparasitario que actúa inhibiendo la respiración anaeróbica de los helmintos a nivel de la enzima mitocondrial específica, el fumarato reductasa (Bennett, 2009, p. 123). Este mecanismo de acción podría explicar por qué el Tiabendazol obtuvo resultados medios tanto a 6°C como a 20°C en el control de *B. cinerea*. Por un lado, el Tiabendazol podría tener una actividad fungicida moderada a ambas temperaturas, ya que inhibe la respiración celular del hongo, lo que reduce su crecimiento y su infección. Por otro lado, el Tiabendazol podría no ser lo suficientemente eficaz como para eliminar completamente a *B. cinerea*, ya que este podría tener otros mecanismos de supervivencia o resistencia, como la producción de esporas o la alteración de la permeabilidad de la membrana (Elad et al., 2016, párr. 4). Además, el Tiabendazol podría tener algún efecto adverso sobre la calidad del tomate, como la reducción de la firmeza o el aumento de la pérdida de peso, lo que podría favorecer el desarrollo del moho gris.

6.3.4. Lv01Banano y Lv01 Papaya

este estudio, se evaluó la eficacia de dos levaduras extraídas del banano y la papaya, para reducir el ABCPE de severidad y de incidencia de *B. cinerea*, un hongo que causa el moho gris en frutas y hortalizas. Los resultados mostraron que la levadura extraída del banano fue el tratamiento más efectivo para reducir ambos indicadores a ambas temperaturas, mientras que la extraída de la papaya tuvo un efecto mixto, reduciendo el ABCPE de severidad, pero no el de incidencia. Estos

resultados se confirmaron mediante la prueba de Tukey, que indicó que Lv01Banano tenía diferencias significativas con el control y Lv01Papaya, mientras que la papaya no tenía diferencias significativas con el control ni con el Tiabendazol.

Estos resultados podrían explicarse por las diferencias en la composición química y el mecanismo de acción de las dos frutas. El banano contiene compuestos fenólicos, como ácido gálico, ácido clorogénico, catequina y epicatequina, que tienen actividad antioxidante y antifúngica (Ahmad, 2019). Estos compuestos podrían inhibir el crecimiento y la infección de *B. cinerea*, así como proteger la fruta de la oxidación y el deterioro. Además, el banano contiene alcaloides, como la serotonina, que podrían tener un efecto inhibitorio sobre la germinación de las esporas y la formación de apsesorios de *B. cinerea* (Noorie & G, 2020). Estos efectos podrían ser independientes de la temperatura, ya que el banano mostró una eficacia similar a 6°C y a 20°C.

La papaya, por otro lado, contiene enzimas proteolíticas, como la papaína y la quimopapaína, que tienen actividad antimicrobiana y cicatrizantes. Estas enzimas podrían degradar las proteínas de la pared celular y la membrana de *B. cinerea*, lo que reduciría su severidad en el tomate. Sin embargo, estas enzimas podrían ser sensibles a la temperatura, ya que la papaya mostró una menor eficacia a 6°C que a 20°C. Además, la papaya contiene azúcares, como la fructosa y la glucosa, que podrían servir de fuente de energía para el hongo, lo que aumentaría su incidencia en los tomates (Palumbo, 2022). Estos efectos podrían contrarrestar el efecto de las enzimas proteolíticas, lo que explicaría por qué la papaya no redujo el ABCPE de incidencia a ninguna de las temperaturas.

Estos resultados indican que la levadura extraída del banano es una alternativa natural más efectiva que la extraída de la papaya para el control de *B. cinerea*, ya que contiene compuestos que inhiben el hongo y protegen el tomate a ambas temperaturas. Por lo tanto, se recomienda utilizar Lv01Banano como tratamiento postcosecha para reducir el ABCPE de severidad y de incidencia de *B. cinerea*. Además, se sugiere realizar más estudios para comprender los mecanismos de acción e interacción del banano y la papaya con el hongo y con las frutas, así como para evaluar su efecto sobre otras enfermedades postcosecha y sobre la calidad de la fruta.

7. Impacto social y humanístico del proyecto

La investigación “Alternativas de control biológico del moho gris (causado por *Botrytis cinerea*) en tomate (Cherry) mediante el uso de levaduras.”, posee un impacto social y humanístico significativo al ofrecer una propuesta para el manejo de enfermedades en los cultivos. Buscando reducir la dependencia de pesticidas químicos, mitigando los riesgos asociados con residuos químicos en alimentos y medio ambiente, beneficiando tanto a agricultores como a consumidores.

La recomendación de explorar la interacción levadura-hongo en condiciones postcosecha, presentada en la investigación, promueve la implementación práctica de estrategias de control biológico. Este enfoque no solo tiene un impacto económico positivo al disminuir los costos asociados con pesticidas, sino que también fomenta la creación de empleo en el sector agrícola, vinculado con la producción y aplicación de agentes biológicos.

Desde un punto de vista humanístico, la investigación destaca la importancia de equilibrar el progreso científico con la responsabilidad ambiental y ética. Al promover prácticas agrícolas más sostenibles, la investigación aborda preocupaciones fundamentales sobre la salud humana, el bienestar ambiental y el acceso a alimentos seguros. En última instancia, este trabajo no solo avanza en el conocimiento científico, sino que también aboga por un futuro más sostenible y equitativo.

8. Conclusiones

Se aisló el hongo fitopatógeno *Botrytis cinerea* a partir de frutos obtenidos en centros de comercialización en la ciudad de Bogotá, y se confirmó su identidad mediante pruebas de laboratorio. Este hongo es el causante del moho gris, una enfermedad que afecta la calidad y la producción de tomate cherry y otras hortalizas

Se obtuvieron levaduras a partir de frutas y flores, donde se evaluó su capacidad de crecimiento a temperaturas de 6°C y 20°C. Se seleccionaron dos levaduras, denominadas Lv01Papaya y Lv01Banano, que mostraron crecimiento y estabilidad a ambas temperaturas.

Se evaluó el efecto antagónico de las dos levaduras seleccionadas sobre *Botrytis cinerea* mediante un ensayo *in planta* a temperaturas de 6°C y 20°C. Se encontró que Lv01Banano fue el tratamiento más efectivo para reducir el ABCPE de severidad y de incidencia de *B. cinerea* a ambas temperaturas, mientras que Lv01Papaya tuvo un efecto mixto, reduciendo el ABCPE de severidad, pero no el de incidencia. Estos resultados se compararon con los de otros tratamientos, como el control, el iprodione, el tiabendazol y el *B. subtilis*, mediante la prueba de Tukey.

El uso de levaduras como agentes de biocontrol es una alternativa viable para el control del moho gris en tomate cherry, especialmente el uso de Lv01Banano, que mostró una mayor eficacia que los demás tratamientos a ambas temperaturas.

9. Recomendaciones

- Se sugiere llevar a cabo ensayos a campo abierto para evaluar la eficacia de Lv01Banano y otras levaduras en condiciones naturales. Esto permitirá entender mejor cómo se comportan estos agentes de control biológico en entornos más realistas y variados, considerando factores como la variabilidad climática, la presencia de otros microorganismos y la diversidad de suelos.
- Realizar análisis económicos y de viabilidad para evaluar el costo-beneficio de la implementación de estrategias de control biológico en comparación con métodos tradicionales. Esto podría respaldar la adopción a gran escala de estas prácticas sostenibles.
- Ampliar la investigación para incluir diferentes tipos de cultivos agrícolas ya que diferentes cultivos pueden tener interacciones únicas con las levaduras, y entender estas variaciones puede ser clave para desarrollar estrategias de control biológico efectivas en una gama más amplia de cultivos.

10. Referencias Bibliográficas

- A. Rezi and M. Allam,. (1995). Techniques in array processing by means of transformations. En *Control and Dynamic Systems Vol. 69* (págs. 133-180). San Diego: Academic Press.
- Ahmad, B. A. (2019). *Pharmacological Activities of Banana*. Sudan.
- Alejandro Arias, L., Ricardo Bojacá, C., Alejandro Ahumada, D., & Schrevens, E. (n.d.). *Monitoring of pesticide residues in tomato marketed in Bogota, Colombia*. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.06.046>
- Archila, O. M. (2018). *Aproximación al manejo de efecto de Botrytis cinerea en cultivos de tomate producido en el municipio de Fómeque, Cundinamarca*. Universidad Nacional de Colombia, Bogota D.C.
- Bedmar, F. (2011). *¿Qué son los plaguicidas?* <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Usotierra/CH%20Plaguicidas%20fin.PDF>
- Bejarano González, F., Aguilera Márquez, D., David Álvarez, J., Eliakym, S., Meraz, A., Aguilar, O. A., de Jesús, P., Bastidas, B., de Los, V., Beltrán, A., Héctor, C., Bernardino Hernández, U., Betancourt, M., Carlos, L., Calderón Vázquez, L., Castillo, J., María, C., Carmen, D., Olmos, C., ... Pa, R. A. (2017). *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*. Retrieved October 8, 2022, from www.pmrMexico.org.mx
- Bermúdez Rubio, D. ., Cuenca Rivera, P. E. ., García Murillo, P. G., Gutiérrez Gómez, G. ., & Portela Ramírez, A. J. . (2021). Sugerencias para escribir análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones en tesis y trabajos de grado. CITAS, 7(1). <https://doi.org/10.15332/24224529.6608>
- Bisheko, M. J. (2023). Major barriers to adoption of improved postharvest technologies among smallholder farmers in sub-Saharan Africa and South Asia: A systematic literature review. *World Development Sustainability*, 2, 100070. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2023.100070>
- Caiza, V. (2013). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO. COLECCIÓN, IDENTIFICACIÓN Y PRUEBAS DE EFICACIA IN VITRO DE (*Trichoderma* sp). EN EL CONTROL BIOLÓGICO DE (*Botrytis cinerea*) EN LA FINCA FLORÍCOLA PICASSO ROSES. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5073/1/UPS-YT00104.pdf>

- Calle, P. F. (2019). *Control biológico del moho gris en cultivos de fresa mediante hongos filamentosos antagonistas*. Cuenca.
- Carson, R. (1962). *Primavera Silenciosa*.
- Casimiro, H. B. (2022). *CONTROL DEL MOHO GRIS (Botrytis cinerea Pers.) EN TOMATE (Solanum lycopersicum) cv. HUASCARÁN MEDIANTE FERTILIZANTES FOLIARES EN LA MOLINA*. Lima: UNALM
- Cheng, M., Meng, F., Lv, R., Wang, P., Wang, Y., Chen, X., & Wang, A. (2023). Postharvest preservation effect of composite biocontrol agent on tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 321, 304–4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112344>
- Cotes, M., Zapata, Y., Beltrán, C., Kobayashi, S., Uribe, L., & Elad, Y. (2018). *Control biológico de patógenos foliares*. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34058>
- DNP. (2008.). *POLÍTICA NACIONAL FITOSANITARIA Y DE INOCUIDAD PARA LAS CADENAS DE FRUTAS Y DE OTROS VEGETALES* Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Ministerio de Comercio, Industria y Turismo Ministerio de la Protección Social Ministerio de Hacienda y Crédito Público DNP: Dirección de Desarrollo Rural Sostenible.
- Eshel, D., Ben-Arie, R., Dinoor, A., and Prusky, D. 2000. Resistance of gibberellin-treated persimmon fruit to *Alternaria alternata* arises from the reduced ability of the fungus to produce endo-1,4- α -glucanase. *Phytopathology* 90:1256-1262.
- FAO. (2003). *Directrices para los países: ELIMINACIÓN DE PLAGUICIDAS 11*. Roma.
- Fertilizantes y Bioinsumos*. (n.d.). Retrieved October 3, 2023, from <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/fertilizantes-y-bio-insumos-agricolas>
- Food News Latam - Nuevas variedades de tomate cherry, en la mira comercial. (n.d.). Retrieved October 8, 2022, from <https://www.foodnewslatam.com/paises/77-colombia/10326-nuevas-variedades-de-tomate-cherry,-en-la-mira-comercial.html>
- Gabal, E. (2019). *Nanobiotechnology Applications in Plant Protection*.
- García Murillo, P. G., Silva Monsalve, A, Bohórquez Ramírez, G y Sandoval Serrano, M. (2023). La educación ambiental: propuesta formativa para la implementación en escenarios educativos. Ediciones USTA. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/51415>
- García Murillo, P. G. (2021). Propuesta de bioensayo como actividad de investigación formativa relacionada con la bioprospección de microorganismos en la agricultura en el marco de la

- educación STEM. En E. Serna M (Ed.) Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI Edición 4, Vol. 1. (pp. 471-479) Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. <https://zenodo.org/records/5708704>
- García-Murillo, P. G. (2021). Evaluación de cuatro biofungicidas y dos cepas del género *Trichoderma*. Rev. Facultad de Agronomía UBA, 41(1), 32–39. Retrieved from <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/162>
- García Murillo, P. G., Martín Perico, J. Y., Rojas Mesa, J. E., Garibello Suan, B., y Parada Romero, L. B. (2021). STEAM Una guía de análisis de relaciones entre Sostenibilidad-Tecnologías y Educación: Propuestas para el Siglo XXI. Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia. <http://hdl.handle.net/11634/33991>
- García Murillo, P. G., Martín Perico, J. Y., Parada Romero, L. B., & Garibello Suan, B. (2020). Diseño metodológico para la implementación de competencias STEAM en un proyecto de agricultura urbana, ajustado a condiciones de COVID-19 y con estudiantes de 5° grado en Bogotá, Colombia. En E. Serna M, Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI Vol. II (pág. 674). Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. <https://zenodo.org/record/4266566>
- 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. (2018). Evaluación de tres desinfectantes contra el moho gris causado por *Botrytis cinerea* en el cultivo de rosa. Redes de Ingeniería, 9(1), 39–45. <https://doi.org/10.14483/2248762X.13882>
- García Murillo, P. G. (2015). Bioprospección de microorganismos nativos como alternativa de manejo de enfermedades en cultivos de la Sabana de Bogotá. CITAS, 1(1), 9–19. Recuperado a partir de <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/citas/article/view/5132>
- García Murillo, P. G., y Cotes, A. M. (2001). Búsqueda de alternativas de control biológico de *Rhizopus stolonifer* en la post-cosecha de tomate. Fitopatología colombiana, 25(1), 39-41.
- Gil, M. J. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*.
- Gonzalez Ulibarry, P. (2019). *Efecto de los plaguicidas sobre la salud humana*. Chile.

- Guo, J., Xu, Y., Liang, S., Zhou, Z., Zhang, C., Li, K., Peng, X., Qin, S., & Xing, K. (2023). Antifungal activity of volatile compounds from *Bacillus tequilensis* XK29 against *Botrytis cinerea* causing gray mold on cherry tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 198, 112239. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112239>
- Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. (2023). Retrieved October 2, from <https://www.ica.gov.co/getdoc/52d5ee50-8bc9-4121-9afa-f7474a68ff2e/publicacion-3.aspx>
- Izquierdos, J. J. (2017). Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín. *Universidad Politécnica Salesiana*
- Jiménez, R. (2017). Efecto del pH y temperatura sobre el crecimiento y actividad antagónica de *Bacillus subtilis* sobre *Rhizoctonia solani*. *Sociedad Mexicana de Fitopatología*.
- José, H., Juan, G., Restrepo, C., Nash, J., Valdés, A., Reina, M., Zuluaga, S., Bermúdez, W., Oviedo, S., & Perfetti, J. J. (2011). *C U A D E R N O S F E D E S A R R O L L O 3 8 LA POLÍTICA COMERCIAL DEL SECTOR AGRÍCOLA EN COLOMBIA*
- Kader, A. A. (1992). Biología y tecnología de postcosecha: una revisión general. *Universidad de California, publicación*, 3311, 311-325.
- Lindquist, D. A. (2008.). *Empleo de radiaciones en agricultura Plaguicidas: ¿Salvará la química a la humanidad?*. https://www.iaea.org/sites/default/files/23305483739_es.pdf Moreira
- Manrique Torres, C.; Martín Perico, J. Y.; Garibello Suan, B.; Mono Castañeda, A.; García Murillo, P. G.; Franco Ortega, J. A. (2022). Una experiencia de acuaponía educativa para el desarrollo de competencias STEAM. En M. G. Portilla Portilla (Ed.), *Pensamientos y saberes contemporáneos en educación y pedagogía* (pp. 217-250). Editorial Universidad Santiago de Cali. <https://libros.usc.edu.co/index.php/usc/catalog/book/501>
- Marco Brown, O. L., Reyes Gil Licenciada en Biología, R. E., Doctorado en Ciencias Biológicas, M., & Marco Brown Rosa E Reyes Gil, O. L. (2003). *PALABRAS CLAVE / Agroecología / Agroecosistemas / Agricultura Orgánica / Impacto Ambiental / Tecnologías Limpias / Desarrollo Sostenible / TECNOLOGÍAS LIMPIAS APLICADAS A LA AGRICULTURA*. 28(5).
- Matute, P. (2019). *Control biológico del moho gris "botrytis cinerea" en cultivos de fresa (fragaria vesca) mediante hongos filamentosos antagonistas*.
- Menacho, P. (2014). Daños mecánicos en frutos. Universidad Nacional del Santa. <https://es.slideshare.net/vegabner/daos-mecanicos-en-frutos>

- Miao, L. L. (November 8-12). A specification based approach to testing polymorphic attributes. *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004*. Seattle, WA, USA,.
- Ministerio de salud. (13 de agosto de 2011). *PROTOCOLO DE VIGILANCIA Y CONTROL DE INTOXICACIONES POR PLAGUICIDAS*.
- Montesinos, F. (2004). *Efecto de los niveles residuales de fungicidas en precosecha en los tratamientos postcosecha para el control de la podredumbre azul de la pera*. España.
- Moreira Sobreira, F., Moreira Sobreira, F., Barrera Sánchez, C. F., Gonçalves Neder, D., & de Pina Matta, F. (2009). Análisis de ruta de tomate Cherry en poscosecha. *Agronomía Colombiana*, 27(3), 401–406.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652009000300014&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Nian, L., Xie, Y., Zhang, H., Wang, M., Yuan, B., Cheng, S., & Cao, C. (2023). *Vishniacozyma victoriae*: An endophytic antagonist yeast of kiwifruit with biocontrol effect to *Botrytis cinerea*. *Food Chemistry*, 411, 135442.
- Noorie, N., & G, C. (2020). Anti-fungal activity of *Carica papaya* leaf extract against *Candida albicans* and its synergy with fluconazole: an in-vitro study. *Department of Pharmacology, Government Kilpauk Medical College, Tamil Nadu, India*.
- Obiazikwor, O. H., Ofeimu, O. V. y Onome, F. (2021). Screening of fungal endophytes for their biocontrol potential against *Rhizopus* sp. isolated from diseased cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *African Journal of Biology and Medical Research*, 4(2), 25-37.
<https://bit.ly/3Qb4TV0>
- Ongley, E. D. (1997). *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos*. Canada.
- Panebianco, S., Lombardo, M. F., Anzalone, A., Musumarra, A., Pellegriti, M. G., Catara, V., & Cirvilleri, G. (2022). Epiphytic and endophytic microorganisms associated to different cultivar of tomato fruits in greenhouse environment and characterization of beneficial bacterial strains for the control of post-harvest tomato pathogens. *International Journal of Food Microbiology*, 379, 109861. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2022.109861>
- PATHOLOGY, M. P. (13 de abril de 2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *MOLECULAR PLANT PATHOLOGY*, págs. 414-430.

- Poveda, J. (2020). Insight into the Microbiological Control Strategies against *Botrytis cinerea* Using Systemic Plant Resistance Activation. *Institute of Environment, Natural Resources and Biodiversity, University of León*.
- Palumbo, M. (2022). Emerging Postharvest Technologies to Enhance the Shelf-Life of Fruit and Vegetables: An Overview. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*.
- Plan-Nacional-de-Residuos. (2022). Retrieved October 3, 2023, from <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/plan-nacional-de-residuos-2022.aspx>
- Resolución No 000389 de 2011. (2011). Retrieved October 3, 2023, from <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/Resoluci%C3%B3n%20No%20000389%20de%202011.pdf>
- Rivera-Pastrana, D. M., Béjar, A. A. G., Martínez-Téllez, M. A., Rivera-Domínguez, M., & González-Aguilar, G. A. (2007). Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4), 361-372.
- Rojas Mesa, J. E. ., Martín Perico, J. Y. ., Garibello Suan, B. ., García Murillo, P. G., Franco Ortega, J. A. ., & Manrique Torres, C. (2022). Avances de la vinculación del modelo STE(A)M en el sistema educativo Español, Estadounidense y Colombiano. Una revisión sistemática de literatura. *Revista Española de Educación Comparada*, (42), 318–336. <https://doi.org/10.5944/reec.42.2023.31385>
- Sansone, G., Rezza, I., Calvente, V., Benuzzi, D., & Sanz De Tosetti, M. I. (2015). Control of *Botrytis cinerea* strains resistant to iprodione in apple with rhodotorulic acid and yeasts. *Postharvest Biology and Technology*, 35, 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.09.005>
- Schäfer, R. B. (2011). Impacts of Pesticides on Freshwater Ecosystems. En R. B. Schäfer, *Ecological Impacts of Toxic Chemicals* (págs. 111-137).
- Silva Monsalve, A. M., Benítez Lemus, A. N., Sandoval Serrano, M. A., García Murillo, P. G. (2022). Propuesta para utilizar la gamificación como escenario formativo en la educación ambiental. En E. Serna M (Ed.) *Revolución Educativa en la Nueva Era Vol. I* (pp. 241-250) Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7381951>
- Sociedad de agricultores de Colombia. (septiembre de 2021). Así es la hortofruticultura nacional. *Sociedad de agricultores de Colombia*.

- Sole, A. C. (2006). *Instrumentación Industrial*. Mexico: Alfaomega.
- Wigner, E. P. (2005). Theory of traveling wave optical laser . *Phys. Rev.*, 134, A635-A646.
- 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>
- Yahia, E. M., & Ariza-Flores, R. (2001). Tratamientos físicos en poscosecha de fruta y hortaliza. *Rev. Horticultura, Extra*, 80, 153.
- Zaller, J. G. (2020). Pesticide Impacts on the Environment and Humans. *Daily Poison*, 127–221.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-50530-1_2
- Zheng, L., Gu, X., Xiao, Y., Wang, S., Liu, L., Pan, H., & Zhang, H. (2023). Antifungal activity of Bacillus mojavensis D50 against Botrytis cinerea causing postharvest gray mold of tomato. *Scientia Horticulturae*, 312, 111841. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111841>