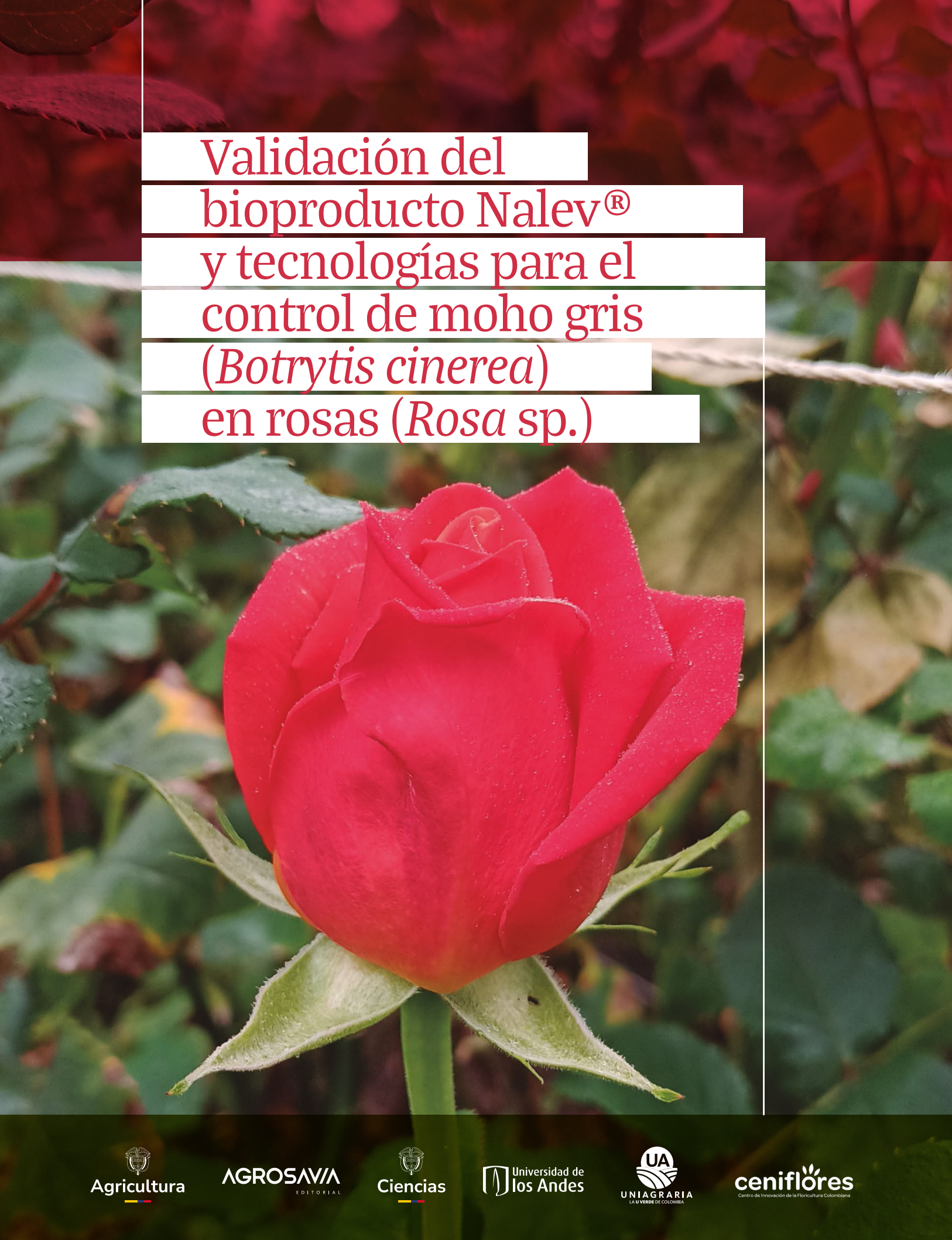
Validación del bioproducto Nalev® y tecnologías para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en rosas (*Rosa* sp.)



Agricultura
AGROSAVIA EDITORIAL
Ciencias
Universidad de los Andes
UNIAGRARIA LA U VERDE DE COLOMBIA
ceniflores Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana

Validación del bioproducto Nalev® y tecnologías para el control de moho gris (*Botrytis cinerea*) en rosas (*Rosa* sp.)

Jinneth Lorena ***Castro Mayorga*** - *Camilo Rubén* ***Beltrán Acosta***
Yimmy Alexander ***Zapata Narváez*** - *Paola Emilia* ***Cuartas Otálora***
Jenny Milena ***Moreno Rodríguez*** - *Erika Paola* ***Grijalba Bernal***
Andrés ***Díaz García*** - *Duván Albeiro* ***Millán Montaño***
Blanca Lucía ***Botina Azaín*** - *Liz Alejandra* ***Uribe Gutiérrez***
Luis Alberto ***Mendoza*** - *Rubén Alberto* ***Lozano Gil***
Laura Valentina ***Merchán Carrizosa*** - *Martha Isabel* ***Gómez Álvarez***

Agricultura
AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria
Ciencias
Universidad de los Andes
UNIAGRARIA
LA U VERDE DE COLOMBIA
ceniflores
Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana

Validación del bioproducto Nalev ® y tecnologias para el control de moho gris *(Botrytis cinerea)* en rosas (*Rosa* sp.). / Jinneth Lorena Castro Mayorga [y otros trece] - Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2026.

88 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.

ISBN: 978-958-740-908-6

ISBN e-Book: 978-958-740-909-3

1. Rosa 2. *Botrytis cinerea* 3. Cultivo 4. Moho 5. Control biológico 6. Levadura 7. Bioplaguicida 8. Biomasa 9. Control de enfermedades de plantas 10. Tecnología postcosecha.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc
Catalogación en la publicación - Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA
Centro de Investigación Tibaitatá, Sede Central. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, código postal 250047, Colombia.

Esta publicación hace parte de los resultados de "Bioflorhass: Programa de innovacion y cooperacion tecnologica para el desarrollo de estrategias de control biologico para los cultivos de rosas y aguacate Hass en Colombia", financiados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia.

Colección: **Alianzas AGROSAVIA**
Tipología: **Obras de Reflexión y Análisis**

Fecha de recepción: 23 de febrero de 2026
Fecha de evaluación: 10 de marzo de 2026
Fecha de aceptación: 16 de abril de 2026

Publicado julio de 2026

Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Liliana Gaona
Corrección de estilo: Luz Ángela Uscátegui Cuellar
Diseño: Janduy Barreto
Diagramación: María Paula Berón Ramírez

https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Citación sugerida:
Castro Mayorga, J. L., Beltrán Acosta, C. R., Zapata Narváez, Y. A., Cuartas Otálora, P. E., Moreno Rodríguez, J. M., Grijalba Bernal, E. P., Díaz García, A., Millán Montaño, D. A., Botina Azaín, B. L., Uribe Gutiérrez, L. A., Mendoza, L. A., Lozano Gil, R. A., Merchán Carrizosa, L. V. & Gómez Álvarez, M. I. (2026). *Validación del bioproducto Nalev® y tecnologías para el control de moho gris (Botrytis cinerea) en rosas (Rosa sp.).* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7409093

Cláusula de responsabilidad:
AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: (+57) 601 914 4677
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co

Tabla de contenido

Agradecimientos 11
Los autores 13
Presentación 19
Introducción 21

Capítulo I.
El cultivo de rosas en Colombia 23
Conclusiones 25
Referencias 26

Capítulo II.
Las levaduras como agentes de control biológico 29
Rhodotorula mucilaginosa 30
Conclusiones 31
Referencias 32

Capítulo III.
Desarrollo de bioinsumos en Colombia: caso Nalev® para el control de moho gris *Botrytis cinerea* 35
Conclusiones 40
Referencias 40

Capítulo IV.

Avances en la validación del uso de un prototipo a base de *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 (Nalev®) 43

Producción de biomasa de la levadura *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 mediante fermentación líquida 43

Conclusiones 47

Diseño de un sistema de entrega para la levadura *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 48

Conclusiones 54

Control del moho gris en rosa por *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 en cultivos comerciales 54

Conclusiones 62

Compatibilidad de *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 con plaguicidas 62

Conclusiones 70

Referencias 71

Capítulo V.

Innovación en el control del moho gris en rosas: membrana difusora de aceite esencial para la conservación de rosas en poscosecha 75

¿Qué hicimos? 75

¿Cómo lo hicimos? 76

¿Qué obtuvimos? 81

Conclusiones 86

Referencias 86

Lista de figuras

Figura 1 Lesiones en pétalos de rosas (decoloración del tejido afectado) causadas por *Botrytis cinerea* que dañan la calidad de la flor **24**

Figura 2 Células de levaduras epífitas asociadas a la filosfera de mora **29**

Figura 3 *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 **30**

Figura 4 Insumos para cultivos de rosas y ornamentales basados en agentes microbiales y registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) **36**

Figura 5 Niveles de madurez tecnológica **38**

Figura 6 Promesa de valor de Nalev® **39**

Figura 7 Componentes de un proceso de fermentación líquida estándar **43**

Figura 8 Biorreactores más utilizados en aplicaciones biotecnológicas **44**

Figura 9 Etapas del proceso de fermentación líquida para la producción de biomasa de la levadura *R. mucilaginosa* Lv316 y valores de biomasa seca y viabilidad obtenidos en cada una **45**

Figura 10 Comparación de dos técnicas de separación para recuperación o cosecha de biomasa de la levadura *R. mucilaginosa* Lv316 proveniente de un proceso de fermentación líquida **47**

Figura 11 Diseño de un granulado dispersable a base de *R. mucilaginosa* Lv316 **48**

Figura 12 Metodología para seleccionar un protector de secado para el granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316 **49**

Figura 13 Metodología para seleccionar un agente desintegrante para el granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316 **50**

Figura 14 Selección de protectores de secado para el granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316 **51**

Figura 15 Proceso de mezcla y granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316 **52**

Figura 16 Distribución de frecuencias del tamaño de partícula del granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316 **53**

Figura 17 Estabilidad en almacenamiento del granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316 **54**

Figura 18 Rosas de dos variedades **55**

Figura 19 Tallos de rosas almacenados en cámaras húmedas **56**

Figura 20 Ramos de rosas Orange Crush y Freedom dispuestos en floreros **56**

Figura 21 Escala de severidad (grado 0 a 4) del moho gris en rosa **57**

Figura 22 Incidencia e índice de severidad del moho gris en las dos variedades de rosas bajo las aplicaciones de Nalev® en las dos concentraciones evaluadas después de siete días en cámara húmeda para el ciclo evaluado en 2022 **58**

Figura 23 Incidencia e índice de severidad del moho gris en las dos variedades de rosas bajo las aplicaciones de Nalev® en las dos concentraciones evaluadas después de siete y catorce días en florero para el ciclo evaluado en 2022 **59**

Figura 24 Incidencia e índice de severidad del moho gris en las dos variedades de rosas bajo las aplicaciones de Nalev® en las dos concentraciones evaluadas después de siete días en cámara húmeda para el ciclo evaluado en 2023 **60**

Figura 25 Incidencia e índice de severidad del moho gris en rosas de las variedades Orange Crush y Freedom bajo las aplicaciones de Nalev® en las dos concentraciones evaluadas después de siete y catorce días en florero para el ciclo evaluado de 2023 **61**

Figura 26 Esquema de evaluación del efecto de los agroquímicos sobre el crecimiento de *R. mucilaginosa* Lv316 **65**

Figura 27 Efecto de fungicidas sobre el crecimiento de *R. mucilaginosa* Lv316 **66**

Figura 28 Fungicidas que podrían emplearse simultáneamente con Nalev® en estrategias de manejo integrado del cultivo **66**

Figura 29 Efecto de insecticidas sobre el crecimiento de *R. mucilaginosa* Lv316 **67**

Figura 30 Insecticidas que podrían emplearse simultáneamente con Nalev® en estrategias de manejo integrado del cultivo **68**

Figura 31 Efecto de coadyuvantes sobre el crecimiento de *R. mucilaginosa* Lv316 **68**

Figura 32 Coadyuvantes que podrían emplearse con Nalev® **69**

Figura 33 Efecto de bactericidas y desinfectantes sobre el crecimiento de *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 **69**

Figura 34 Bactericidas y desinfectantes que podrían emplearse simultáneamente con Nalev® en estrategias de manejo integrado del cultivo **70**

Figura 35 Ramos de rosas de las variedades Moody Blues (MB), Freedom (F) y Orange Crush (OC) utilizadas en los ensayos **76**

Figura 36 Proceso de fabricación de membrana con aceite esencial mediante *electrospinning*, combinando el polímero y el aceite para obtener fibras micrométricas **77**

Figura 37 Ubicación de la membrana **77**

Figura 38 Almacenamiento en refrigeración **80**

Figura 39 Quemadura en las rosas expuestas a las seis membranas (7 × 10 cm) ubicadas en los separadores de las camas del ramo **81**

Figura 40 Porcentaje de incidencia e índice de severidad en ramos de rosas de las variedades MB (a y b), OC y F (c y d) sin membrana (control) (C) y con membrana (M) **82**

Figura 41 Porcentaje de incidencia e índice de severidad en la caja de rosas de la variedad F y OC con (M) y sin membrana (control) (C) **83**

Figura 42 Pérdida de peso de la membrana almacenada a temperatura ambiente (aprox. 20 °C) **85**

Lista de tablas

Tabla 1 Ensayo de selección de desintegrantes **51**

Tabla 2 Caracterización fisicoquímica del granulado a base de la levadura *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 **52**

Tabla 3 Tratamientos evaluados para validar el control de Nalev® sobre *Botrytis cinerea* en cultivos de rosa en dos temporadas diferentes **55**

Tabla 4 Lista de insumos agrícolas utilizados en la prueba de compatibilidad con la levadura *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 **64**

Tabla 5 Evaluación de parámetros de calidad en rosas **79**

Tabla 6 Resultados de los parámetros de calidad en ramo **83**

Tabla 7 Resultados de ensayos a nivel de caja de acuerdo con parámetros de calidad **84**

Tabla 8 Resultados del análisis termogravimétrico (TGA) de la membrana difusora almacenada durante 12 meses a 6 °C **85**


AGRO





Agradecimientos

Al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por la financiación y ejecución de "Bioflorhass: Programa de innovación y cooperación tecnológica para el desarrollo de estrategias de control biológico para los cultivos de rosas y aguacate Hass en Colombia", código 80740-469-2021, que permitió el desarrollo de este trabajo. De igual manera, agradecemos a nuestros aliados: Universidad de los Andes, Fundación Universitaria Agraria de Colombia (Uniagraria) y Centro de Innovacion de la Floricultura Colombiana (Ceniflores) por su compromiso en el desarrollo del proyecto.

A su vez, se expresa agradecimiento muy especial a la empresa productora y exportadora de rosas Matina Flowers S. A. S. y al personal de la finca Macuira, ubicada en Cogua, Cundinamarca, Colombia, por permitir realizar en sus instalaciones los diferentes trabajos de evaluación y validación del bioplaguicida Nalev®.


ML418
heidolph
AGITADOR MECÂNICO



Los autores

Martha Isabel Gómez Álvarez
Correo: mgomeza@agrosavia.co
Orcid: 0000-0003-4919-2747

Investigadora PhD senior con Doctorado en Bioquímica y Farmacia, Máster en Formulación de Liposomas y especializaciones en gerencia, costos y mercadeo. Tiene más de 25 años de experiencia en diseño, desarrollo, escalado, registro, mercadeo y transferencia de tecnología de bioproductos agrícolas y pecuarios. De 2001 a 2007, trabajó en Newbiotechnic (España) como responsable de producción de agentes de control biológico, como *Trichoderma*. Desde 2008, trabaja en AGROSAVIA (Colombia). Ha desarrollado proyectos en temas relacionados con procesos productivos mediante fermentación sólida y líquida, diseño de formulaciones sólidas y líquidas (polvos, gránulos, suspensiones, emulsiones y microencapsulados), escalado de procesos de fabricación y registro de bioproductos (bioplaguicidas, biofertilizantes y probióticos). Lidera la estrategia y el modelo de negocios para la protección, llegada al mercado y transferencia de tecnología de bioproductos de la institución y asesora entidades como el Ministerio de Agricultura de Colombia, el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura en temas relacionados con bioinsumos.

Luis Alberto Mendoza Vargas
Correo: luis.mendoza@ceniflores.org
Orcid: 0000-0003-1801-3865

Coordinador de proyectos en el Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana (Ceniflores), donde articula iniciativas de innovación e investigación orientadas al fortalecimiento del sector. Es ingeniero agrónomo y magíster en Ciencias Agrarias en fitopatología, con experiencia en gestión de proyectos, articulación interinstitucional e investigación en floricultura. Ha participado en el desarrollo de programas, eventos técnicos y proyectos colaborativos en los cuales ha integrado academia, industria y entidades públicas para abordar retos productivos y de sostenibilidad. Es autor y coautor de publicaciones científicas en temas de fitopatología, epidemiología de enfermedades y sanidad vegetal. Su trabajo se orienta a la identificación de necesidades de innovación, la divulgación de conocimiento y la conexión de actores del ecosistema.

Yimmy Alexander Zapata Narváez
Correo: jzapatan@agrosavia.co
Orcid: 0000-0002-7586-209X

Microbiólogo de la Pontificia Universidad Javeriana, con Maestría en Agrociencias de la Universidad de La Salle, se desempeña como investigador máster senior en AGROSAVIA. Su área de trabajo se enfoca en la fitopatología y el control biológico de enfermedades en sistemas productivos como frutales, hortalizas, cultivos transitorios y perennes. Para esto, junto con un equipo multidisciplinario, desarrolla bioproductos e incorpora estos desarrollos en la producción agrícola buscando orientar estrategias de manejo integrado del cultivo que promuevan la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Camilo Rubén Beltrán Acosta
Correo: cbeltran@agrosavia.co
Orcid: 0000-0002-6063-6962

Biólogo de la Universidad Nacional de Colombia y magíster en Ciencias Biológicas con énfasis en Biotecnología Vegetal de la Pontifica Universidad Javeriana. Tiene experiencia en las áreas de fitopatología, control biológico, manejo integrado de enfermedades, biología y biotecnología vegetal. Integrante del grupo de investigación Control Biológico de Plagas Agrícolas. Con experiencia en gestión, ejecución y evaluación de proyectos de investigación. Ha trabajado en el manejo integrado de enfermedades en diferentes cultivos y el desarrollo tecnológico, el registro y la transferencia de bioproductos.

Paola Emilia Cuartas Otálora
Correo: pcuartas@agrosavia.co
Orcid: 0000-0001-8009-2600

Microbióloga agrícola y veterinaria, PhD en Biotecnología e investigadora PhD asociada de AGROSAVIA, entidad donde actualmente se desempeña como jefe del Departamento de Bioproductos desde el 2019. Cuenta con más de 15 años de experiencia en el desarrollo y registro de bioproductos para la integración en programas de manejo integrado, y lidera proyectos de investigación en áreas relacionadas principalmente con la producción de bioplaguicidas a base de virus y hongos, codesarrollos y actividades de validación, registro y transferencia. Cuenta con más de 25 publicaciones científicas y una patente. Además, ha participado en el desarrollo de productos como Spobiol®, Erytec®, Baculovirus®, Ecotispa® y Leptostop®, entre otros.

Jenny Milena Moreno Rodríguez
Orcid: 0000-0002-3444-4836

Química industrial, MBA en Gestión de Negocios y Mercados, magíster en Ingeniería de Producción y especialista en Logística. Su trayectoria laboral en I+D+i en el sector agropecuario se orienta hacia investigación de mercados, formulación y dirección de proyectos, generación de estrategias de transferencia de tecnología y planes de mercadeo para bioinsumos y desarrollo de nuevas tecnologías. También ha trabajado en control de calidad, análisis químico y en estrategias para la reducción de perdidas poscosecha, aprovechamiento de subproductos y optimización de cadenas de abastecimiento agroalimentarias.

Jinneth Lorena Castro Mayorga
Correo: jlcastr@agrosavia.co
Orcid: 0000-0002-8909-6955

Ingeniera biológica de la Universidad Nacional de Colombia, con Maestría en Biotecnología Industrial y Agroalimentaria (Universidad de Almería, España) y Doctorado en Biotecnología (Universidad Politécnica de Valencia, España). Cuenta con experiencia en investigación y docencia en ciencias biológicas, con 27 publicaciones científicas y una patente registrada. Actualmente se desempeña como investigadora PhD asociada en el Departamento de Bioproductos de AGROSAVIA, donde lidera procesos de I+D+i en bioplaguicidas y biofertilizantes. En el marco del programa Bioflorhass, ha dirigido la validación de las tecnologías Nalev®, Tricotec® WG y una membrana difusora de aceites esenciales para el control de moho gris y antracnosis en etapas de pre y poscosecha de rosas y aguacate Hass. Adicionalmente, asesora biofábricas, lidera planes de vinculación y capacitación en bioinsumos y desarrolla actividades de apropiación social del conocimiento con productores, niños y jóvenes.

Erika Paola Grijalba Bernal
Correo: egrijalba@agrosavia.co
Orcid: 0000-0001-7385-3408-3408

Máster en Ciencias Biológicas con énfasis en microbiología de la Universidad de los Andes y química farmacéutica de la Universidad Nacional de Colombia. Con más de 20 años de experiencia en el diseño y desarrollo de bioproductos como bioplaguicidas a base de hongos entomopatógenos (*Metarhizium anisopliae, Metarhizium rileyi, Beauveria bassiana* y *Purpureocillium lilacinum*), virus entomopatógenos como nucleopoliedrovirus, biofertilizantes a base de *Bradyrhizobium, Azotobacter* y *Bacillus* sp. y probióticos a base de bacterias ruminales anaerobias. Actualmente se desempaña como investigadora máster en el Departamento de Bioproductos de AGROSAVIA.

Andrés Díaz García
Correo: adiaz@agrosavia.co
Orcid: 0000-0002-8638-7968

Ingeniero químico con Maestría en Ingeniería Bioquímica por la Universidad Nacional de Colombia. Con más de 20 años de experiencia como investigador en AGROSAVIA, su trabajo científico se ha centrado en el diseño de medios de cultivo y equipos para la producción masiva de microorganismos, así como en la estandarización, optimización y escalamiento de procesos de fermentación sólida y líquida. Actualmente se desempeña como investigador máster asociado en la Planta Piloto de Bioproductos de AGROSAVIA, con un enfoque especial en el desarrollo tecnológico de bioproductos y el escalamiento de bioprocesos a nivel piloto. Ha realizado contribuciones en proyectos de investigación y desarrollo, vinculación y registro de bioinsumos y ha publicado artículos científicos, manuales, cartillas y capítulos de libro relacionados con la ingeniería bioquímica, así como con la aplicación de bioinsumos en campo, en publicaciones científicas a nivel nacional e internacional.

Duván Millán Montaño
Correo: dmillan@agrosavia.co
Orcid: 0000-0001-5493-9177

Microbiólogo industrial. Actualmente ocupa el cargo de profesional de apoyo a la investigación en el Departamento de Bioproductos de AGROSAVIA, en donde trabaja en procesos de fermentación líquida a diversas escalas, así como en el manejo y conservación inherente de microorganismos con el fin de desarrollar biofertilizantes que representen una alternativa viable a la fertilización tradicional.

Liz Alejandra Uribe Gutiérrez
Correo: luribe@agrosavia.co
Orcid: 0000-0002-8282-7196

Magíster en Ciencias Agrarias (énfasis en fitopatología) de la Universidad Nacional de Colombia y microbióloga industrial de la Pontificia Universidad Javeriana. Es investigadora máster en AGROSAVIA desde 2008, donde lidera la curaduría y gestión de la Colección de Microorganismos con Interés en Control Biológico (CMICB). Certificada en manejo de colecciones de cultivos, posee más de 15 años de experiencia en la conservación, caracterización e identificación de microorganismos con potencial aplicación en el sector agropecuario, orientados al desarrollo de bioinsumos y al mejoramiento de procesos.

Blanca Lucía Botina Azaín
Correo: bbotina@agrosavia.co
Orcid: 0000-0002-8417-6526

Microbióloga y magíster en Ciencias Biológicas de la Universidad de los Andes. Actualmente se desempeña como investigadora máster en AGROSAVIA. Su trabajo se centra en el desarrollo de alternativas para la competitividad del campo, tales como el manejo integrado de fitopatógenos, procesos de poscosecha y la valorización de residuos industriales en diversos sistemas productivos. En la línea de remediación ambiental, ha evaluado subproductos para mitigar metales pesados en suelos cacaoteros, mientras que en el ámbito pecuario participa en proyectos para el control de la leptospirosis bovina. Posee una sólida trayectoria técnica en metodologías de laboratorio químico y microbiológico, además de un recorrido previo en control de calidad para la industria de alimentos.

Laura Valentina Merchán Carrizosa
Correo: lv.merchan10@uniandes.edu.co
Orcid: 0009-0003-3907-9959

Magíster en Ingeniería Química, bióloga y microbióloga de la Universidad de los Andes. Actualmente se desempeña como profesional de investigación y desarrollo en la Universidad de los Andes, con énfasis en la validación de bioproductos y bioprocesos para el control microbiológico en sistemas agroindustriales. Ha participado en proyectos de innovación, como Bioflorhass, orientados al manejo de hongos fitopatógenos en flores y aguacates destinados a exportación. Sus áreas de interés incluyen la microbiología aplicada, el aseguramiento de calidad bajo estándares internacionales y la transferencia tecnológica para la industria agrícola.

Rubén Alberto Lozano Gil
Correo: lozano.ruben@uniagraria.edu.co
Orcid: 0000-0001-6756-5223

Magíster en Ingeniería Industrial con énfasis en gestión de operaciones e ingeniero agroindustrial, actualmente es docente de tiempo completo del programa de Ingeniería Agroindustrial en la Fundación Universitaria Agraria de Colombia (Uniagraria) y presidente de la mesa sectorial de floricultura del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Desempeña labores de asesoría empresarial en temas de gestión, control y evaluación de calidad, estrategias de mejora continua y administración de la producción, especialmente en empresas del sector floricultor. Adicionalmente, en este sector, ocupó los cargos de coordinador, jefe de poscosecha y asistente de aseguramiento de calidad. También fue monitor graduado en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Sus áreas de investigación son gestión de calidad, logística agroindustrial, gestión y administración de la producción y control fitosanitario.

Presentación

La agricultura colombiana, y particularmente el sector floricultor, ha sido durante décadas un motor de desarrollo económico, social y ambiental para el país. Entre las especies ornamentales, la rosa se destaca no solo por su belleza y valor comercial, sino también por representar un sistema productivo consolidado que permite generar innovaciones y posicionar a Colombia en los mercados internacionales.

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el marco de "Bioflorhass: Programa de innovación y cooperación tecnológica para el desarrollo de estrategias de control biológico para los cultivos de rosas y aguacate Hass en Colombia", presenta este libro de divulgación titulado *Validación del bioproducto Nalev® y tecnologías para el control de moho gris (Botrytis cinerea) en rosas (Rosa sp.).*

Este documento es el resultado de un proceso de investigación, validación y transferencia tecnológica orientado a ofrecer alternativas sostenibles para el manejo del moho gris (*Botrytis cinerea*), una de las enfermedades más limitantes en la floricultura. Su desarrollo permitió el progreso y evaluación del bioproducto Nalev®, basado en la levadura *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316, como una herramienta innovadora y ambientalmente responsable frente al uso de fungicidas sintéticos tradicionales.

Así mismo, se presentan avances de innovación tecnológica asociados al desarrollo de una membrana difusora de aceites esenciales (AE) para la conservación de rosas en poscosecha, una estrategia complementaria que demuestra el potencial del uso de compuestos naturales en la reducción de pérdidas y la mejora de la calidad.

Esta obra es un instrumento pedagógico accesible para técnicos, tecnólogos, agricultores, empresarios del sector floricultor y formuladores de políticas públicas a partir de resultados de investigación de alta calidad.

Se estructura de manera progresiva, paso a paso, iniciando con una contextualización sobre la importancia del cultivo de rosas en Colombia y el papel de las levaduras como agentes de biocontrol. Posteriormente, se detalla el desarrollo del bioproducto Nalev®, basado en la levadura *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316, desde la producción de biomasa mediante fermentación líquida hasta el diseño del sistema de entrega, las pruebas de validación en campo y la evaluación de su compatibilidad con otros insumos. También, la implementación y evaluación de membranas difusoras de AE que liberan compuestos naturales con propiedades antifúngicas que protegen los ramos durante el almacenamiento y el transporte para ofrecer una alternativa más sostenible para la floricultura.

Este libro documenta cómo un desarrollo científico riguroso puede transformarse en una solución tecnológica concreta y aplicable en campo, lo cual muestra el potencial de la biotecnología agrícola nacional cuando se integran todas las etapas del desarrollo tecnológico: investigación básica, validación experimental y articulación con los actores del sistema productivo.

Más allá del desarrollo técnico, esta publicación contribuye a fortalecer una visión de sostenibilidad agropecuaria alineada con las demandas globales y nacionales de una producción limpia, socialmente responsable y respetuosa con el medio ambiente. La comunidad floricultora encontrará en este libro una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia de sus prácticas, reducir el impacto ambiental de sus operaciones y fortalecer la resiliencia frente al cambio climático y la resistencia a patógenos.

Con esta publicación, AGROSAVIA, como ejecutor del programa Bioflorhass, en colaboración con el Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana (Ceniflores), la Fundación Universitaria Agraria de Colombia (Uniagraria) y la Universidad de los Andes, reafirma su compromiso con la generación de soluciones biotecnológicas que promuevan la sostenibilidad, competitividad e innovación del agro colombiano y consolida el liderazgo del país en una floricultura más verde, eficiente y de alto valor agregado.

Introducción

Colombia se ha consolidado como el segundo exportador mundial de flores y ha posicionado el cultivo de la rosa (*Rosa hybrida*) como el núcleo de su sector. Debido a su relevancia socioeconómica y amplia variedad, este cultivo exige estándares de calidad fitosanitaria rigurosos para satisfacer las altas demandas del mercado internacional.

No obstante, la productividad y la vida en florero se ven limitadas por *Botrytis cinerea*, agente causal del moho gris. Este patógeno no solo reduce el rendimiento en campo, sino que compromete la estética y la longevidad de la flor, lo que deriva en pérdidas económicas significativas. Dada su alta plasticidad genética y el creciente riesgo de resistencia a los fungicidas de síntesis química, la floricultura ha fortalecido el manejo integrado de enfermedades (MIE). Este enfoque ha buscado priorizar el uso de agentes de control biológico que garanticen la inocuidad y la sostenibilidad del proceso productivo.

Con el objetivo de reducir la dependencia de fungicidas químicos y evitar la generación de cepas resistentes, el MIE ha integrado herramientas biotecnológicas como la levadura *Rhodotorula glutinis*. Este agente de control biológico se distingue por su eficacia antagónica basada en un mecanismo de acción multifacético. Su principal fortaleza radica en la competencia por nicho y nutrientes, ya que, al colonizar con rapidez las microheridas de la flor, agota los recursos de carbono y nitrógeno necesarios para el patógeno. De este modo, se logra una inhibición efectiva de *B. cinerea* que garantiza la inocuidad del producto final.

No obstante, el control debe trascender el cultivo y extenderse a la poscosecha, fase donde las condiciones de humedad favorecen la reactivación del moho gris. En este contexto, surge la innovadora implementación de membranas difusoras de aceites esenciales, las cuales permiten la liberación controlada de compuestos volátiles con propiedades fungistáticas. Este enfoque integral, que combina el biocontrol microbiano en la etapa de producción con tecnologías de empaque activo en poscosecha, representa el futuro de un sector que busca garantizar la excelencia y la sanidad de la rosa colombiana en los mercados internacionales.



Capítulo I.
El cultivo de rosas en Colombia

El cultivo de rosas (*Rosa* sp.) bajo agricultura protegida es uno de los más importantes dentro de las plantas ornamentales a nivel mundial, ya que lidera el mercado de flores de corte gracias a su alta demanda comercial y su valor simbólico. De acuerdo con Dogan et al. (2025), la rosa es considerada la flor más relevante en la industria de la floricultura global no solo por su volumen de producción masiva en diferentes regiones del mundo, sino también por su papel en la economía agrícola de los países exportadores.

En Colombia, la rosa constituye una de las actividades agrícolas más relevantes del sector floricultor y ha contribuido de manera significativa a posicionar al país como uno de los principales exportadores de flores del mundo (Asociación Colombiana de Exportadores de Flores [Asocolflores], 2021). Gracias a sus condiciones agroclimáticas y su ubicación geográfica cercana al ecuador, que proporciona una radiación solar constante y un fotoperiodo estable durante todo el año, Colombia ha logrado establecerse como un referente internacional en la producción de rosas de alta calidad. Este producto es altamente valorado en el mercado global por su diversidad de colores, formas y tamaños (Colead, 2025).

Colombia es actualmente el segundo mayor exportador de flores a nivel mundial, después de los Países Bajos, y el principal proveedor de flores frescas para el mercado de los Estados Unidos, con el 79 % de las exportaciones (Asocolflores, 2025). En 2024, las exportaciones de flores de corte alcanzaron un valor de 2,3 billones de dólares, con un volumen de 331.000 toneladas (Farjana et al., 2024). En 2025, el sector floricultor de Colombia alcanzó aproximadamente 2.400 millones de dólares y 340.000 toneladas, lo que lo consolida como uno de los principales generadores de divisas del país (Asocolflores, 2025). La exportación de rosas frescas representó en 2025 el 18 %, con ingresos de 429 millones de dólares y un volumen de 61.015 toneladas. Los principales destinos fueron Estados Unidos, seguido de España, Canadá y Reino Unido, entre otros (BBVA, 2025).

Además de su impacto económico, el sector floricultor es una fuente clave de empleo. Más de 200.000 personas en Colombia están vinculadas directa e indirectamente a esta actividad en más de 115 municipios (Florists' Review, 2024a), y se estima que unas 110.000 trabajan directamente en el cultivo y procesamiento de flores. Durante

temporadas pico, como el día de San Valentín, se generan cerca de 20.000 empleos adicionales. Cabe destacar que el 60 % de la fuerza laboral del sector está conformada por mujeres y la mitad de ellas son cabeza de familia, lo cual representa el 25 % del empleo rural formal femenino en el país (Asocolflores, 2021; Florists' Review, 2024b).

El sector floricultor colombiano ha avanzado hacia sistemas más sostenibles mediante la implementación de tecnologías en el manejo agronómico, el uso de nuevas variedades y la adopción de bioinsumos como alternativas sostenibles para el manejo de los cultivos. La certificación bajo estándares como Florverde Sustainable Flowers ha permitido mejorar el acceso a mercados exigentes y ha posicionado la floricultura nacional como un modelo de responsabilidad ambiental y social que alcanza 9.000 hectáreas de área certificada en 2025 (Asocolflores, 2025).

No obstante, el cultivo de rosas enfrenta desafíos crecientes. El cambio climático ha generado eventos como lluvias intensas, inundaciones y variaciones térmicas que afectan la producción y dificultan la logística (Farjana et al., 2024). Eventos como La Niña, con excesos de lluvia y aumento de nubosidad, elevan la humedad foliar y del suelo, lo cual aumenta la probabilidad de enfermedades y favorece su incidencia (BBVA, 2025). A esto se suma la competencia de países como Ecuador, Kenia y los Países Bajos, así como el incremento en los costos de insumos esenciales (fertilizantes, agroquímicos y materiales de empaque, entre otros) (Colead, 2025).

Uno de los principales retos fitosanitarios en la producción de rosas es el moho gris, causado por el hongo *Botrytis cinerea*, un patógeno que afecta la calidad (figura 1) y el rendimiento de las flores tanto en campo como en poscosecha (Ullah et al., 2024). Este hongo puede infectar tallos, brotes y flores y genera síntomas que van desde lesiones necróticas hasta pudriciones severas, lo cual ocasiona el rechazo del producto en mercados internacionales y pérdidas económicas significativas (Muñoz et al., 2019).



Figura 1. Lesiones en pétalos de rosas (decoloración del tejido afectado) causadas por *Botrytis cinerea* que dañan la calidad de la flor.

Fuente: Camilo Rúben Beltrán Acosta

Un aspecto crítico es su capacidad de permanecer en estado latente en los tejidos de la planta durante el cultivo y manifestarse posteriormente durante el almacenamiento o el transporte, lo cual hace difícil su detección oportuna. Las condiciones ambientales que favorecen su desarrollo son prevalentes en las zonas productoras de rosas. El hongo causa enfermedad en ambientes con alta humedad relativa (superior al 94 %) y temperaturas entre 15 y 25 °C (Muñoz et al., 2019). Así mismo, factores como la condensación en los empaques durante la cadena de frío (2 °C a 4 °C), la escasa ventilación en invernaderos y la presencia de rocío favorecen su esporulación.

El control de *B. cinerea* se basa tradicionalmente en el uso de fungicidas aplicados antes y después de la cosecha. Sin embargo, estas prácticas enfrentan problemas como el posible desarrollo de resistencia, el aumento de costos y los impactos ambientales (Giraldo et al., 2024). Por ello, se han promovido estrategias de manejo integrado, que incluyen prácticas culturales como eliminación de tejidos enfermos, buena ventilación y control del riego (Valencia et al., 2018; FloralDaily, 2023), así como manejo biológico con el uso de microorganismos y extractos vegetales con propiedades antifúngicas y aplicaciones de calcio que refuerzan las paredes celulares y aumentan la tolerancia a la infección (Ha et al., 2021).

En el marco de una floricultura cada vez más comprometida con los principios de sostenibilidad ambiental, social y económica y la aplicación de protocolos de inocuidad, el control biológico emerge como una estrategia fundamental para el manejo integrado de enfermedades (BBVA, 2025). Su incorporación permite reducir la dependencia de fungicidas sintéticos, eliminar gradualmente ingredientes de alto riesgo, mitigar la aparición de eventos de resistencia de patógenos y disminuir el impacto negativo sobre los agroecosistemas.

Además, el uso de agentes biológicos se alinea con las exigencias de los mercados internacionales, que valoran cada vez más las prácticas agrícolas responsables, libres de residuos y con bajo impacto ambiental (certificaciones Florverde y GlobalG.A.P.) (BBVA, 2025). Este enfoque no solo contribuye a preservar la salud del agroecosistema, sino que también fortalece la reputación del floricultor colombiano como proveedor de flores de alta calidad, cultivadas bajo estándares éticos y sostenibles. Impulsar el control biológico en la producción de rosas no es solo una opción técnica viable, sino un camino estratégico hacia una floricultura más resiliente, innovadora y competitiva a largo plazo.

Conclusiones

El cultivo de rosas en Colombia no solo es un componente económico clave, sino también social, ya que genera ingresos significativos y empleo rural formal, lo que lo convierte en una actividad estratégica para la estabilidad y el desarrollo del sector agrícola nacional.

La sostenibilidad y la innovación son esenciales para la competitividad futura del sector floricultor, dado que enfrenta retos como el cambio climático y problemas fitosanitarios

importantes como *Botrytis cinerea,* que representa un riesgo significativo para la calidad y la comercialización de las rosas, así como la presión de mercados internacionales, lo que exige adoptar prácticas responsables como el manejo integrado y el control biológico.

Referencias

Asociación Colombiana de Exportadores de Flores [Asocolflores]. (2025, abril 10) *Informe del presidente 2025.* https://asocolflores.org/wp-content/uploads/2026/04/Informe-presidente-2025-v3.pdf

Asociación Colombiana de Exportadores de Flores [Asocolflores]. (2021, enero 20). *During Saint Valentine's flower growers generate approximately 20,000 additional jobs.* https://asocolflores.org/en/during-saint-valentines-flower-growers-generate-approximately-20000-additional-jobs/

BBVA. (2025, diciembre 12). *Sembrando el futuro: sector floricultor.* https://www.bbvaresearch.com/publicaciones/colombia-sembrando-el-futuro-sector-floricultor/

Colead. (2025). *The flower sector in Kenya: Summer Flowers.* https://resources.colead.link/es/e-bibliotheque/the-flower-sector-in-kenya-roses

Dogan, E., Kazaz, S., & Kılıç, T. (2025). Interspecific hybridization of miniature roses and inheritance of some traits in progeny. *Horticulture, Environment, and Biotechnology, 66*, 1457-1470. https://doi.org/10.1007/s13580-025-00732-9

Farjana, S., Ali, M., Jeon, Y., Nam, D. H., Chung, S. O., & Lee, G. J. (2024). Artificial Intelligence in Floriculture and Its Industrial Applications. *International Journal of Advanced Smart Convergence, 13*(4), 487-503. https://doi.org/10.7236/IJASC.2024.13.4.487

FloralDaily. (2023, abril 12). *Colombian floriculture pays a lot of attention to water conservation.* https://www.floraldaily.com/article/9520039/colombian-floriculture-pays-a-lot-of-attention-to-water-conservation/

Florists' Review. (2024a, diciembre 29). *A look at the Colombian floriculture industry in 2024.* https://floristsreview.com/a-look-at-the-colombian-floriculture-industry-in-2024/

Florists' Review. (2024b, marzo 11). *Women on the flower farm.* https://floristsreview.com/women-on-the-flower-farm/

Giraldo, D., Saldarriaga, C., García, H., López, M., & González, A. (2024). Genotypic and phenotypic characterization of resistance to fenhexamid, carboxin, and, prochloraz, in *Botrytis cinerea* isolates collected from cut roses in Colombia. *Frontiers in Microbiology, 15,* Art. 1378597. http://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1378597

Ha, S. T. T., Choi, B., & In, B. C. (2021). *Nature and regulation of Botrytis cinerea in Rosa hybrida. Flower Research Journal, 29*(3), 129-137. https://doi.org/10.11623/frj.2021.29.3.02

Muñoz, M., Faust, J. E., & Schnabel, G. (2019). Characterization of *Botrytis cinerea* from commercial cut flower roses. *Plant Disease, 103*(7), 1577-1583. https://doi.org/10.1094/PDIS-09-18-1623-RE

Ullah, I., Yuan, W., Khalil, H. B., Raiees Khan, M., Lak, F., Uzair, M., Abbas, A., Mirzadi Gohari, A., & Wu, H. (2024). Understanding *Botrytis cinerea* infection and gray mold management: a review paper on deciphering the rose's thorn. *Phytopathology Research, 6,* 42. https://doi.org/10.1186/s42483-024-00262-9

Valencia, J., Vélez, J., & Arévalo, J. (2018). Evaluation of irrigation in roses in a suitable substrate with three water depths and the percentage of drainage. *Agronomía Colombiana, 36*(3), 266-273. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n3.73912





Capítulo II.
Las levaduras como agentes de control biológico

Las levaduras son hongos microscópicos unicelulares ampliamente distribuidos en la naturaleza. Son habitantes comunes del suelo y de la superficie de las plantas (figura 2) y logran aislarse con facilidad en las hojas, las flores o los frutos (Gouka et al., 2022). Estos microorganismos están adaptados a vivir en las condiciones de la filosfera, consiguen tolerar cambios de temperatura, humedad, pH y, en algunas especies, la exposición a la radiación ultravioleta (UV) (Gouka et al., 2022; Freimoser et al., 2019).

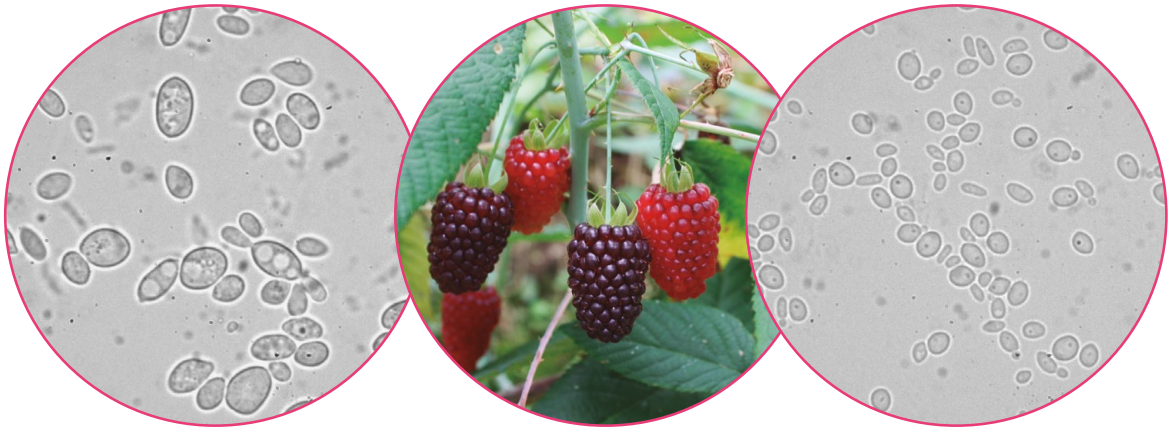


Figura 2. Células de levaduras epífitas asociadas a la filosfera de mora.
Fuente: Jimmy Alexander Zapata Narváez

Se reproducen principalmente de forma asexual, mediante gemación o fisión binaria, lo cual hace que sus poblaciones crezcan de forma exponencial, consuman rápidamente los nutrientes en su entorno y ocupen los espacios que podrían aprovechar los microorganismos fitopatógenos (Pollard & Wu, 2010; Wang et al., 2017; Kowalska et al., 2022).

Algunas levaduras producen y secretan enzimas como quitinasas, glucanasas, lipasas y proteasas que degradan los componentes celulares de los hongos patógenos en procesos de micoparasitismo, aunque este mecanismo no se ha estudiado en detalle para levaduras. Lima et al. (1998) demostraron la secreción de β-1,3-glucanasa por *Cryptococcus laurentii* (LS-28) y *Rhodotorula glutinis* (LS-11), mecanismo al que se le atribuyó el control de patógenos poscosecha como *Botrytis cinerea, Penicillium expansum* y *Rhizopus stolonifer* en uva de mesa, manzana y fresa en almacenamiento hasta en un 60 %. Wisniewski et al. (1991) observaron que *Pichia guilliermondii* se adhiere a las hifas de *B. cinerea* y provoca lisis mediante la producción y secreción de glucanasas.

A la par con el control de fitopatógenos, las levaduras forman biopelículas de exopolisacáridos que favorecen la adhesión a la superficie foliar, lo cual protege las células de la desecación, temperaturas extremas, salinidad y la radiación UV e influye directamente en su persistencia ambiental, competitividad y actividad de biocontrol (Freimoser et al., 2019; Mohammed et al., 2021).

Desde el punto de vista tecnológico, dadas sus características biológicas, las levaduras presentan facilidad de cultivo en biorreactores (control de temperatura, pH, oxígeno y agitación para facilitar el crecimiento de la biomasa de la levadura), el desarrollo de formulaciones y amplias opciones de aplicación tanto en campo como en poscosecha. No obstante, el uso de levaduras antagonistas como agentes de biocontrol es limitado y en el mercado internacional se encuentran pocos bioplaguicidas cuyo principio activo son levaduras (Kowalska et al., 2022).

Rhodotorula mucilaginosa

Rhodotorula mucilaginosa (figura 3) es una "levadura roja", término que se utiliza para referirse a levaduras que producen cantidades significativas de pigmentos carotenoides y lípidos intracelularmente que les confieren a sus colonias una coloración naranja, rosada, salmón o roja. Dentro de este grupo se encuentran géneros como *Rhodosporidium*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* y *Sporidiobolus* (Li et al., 2022).

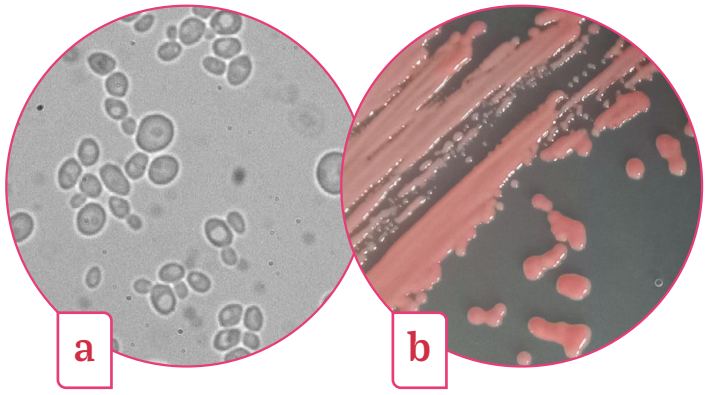


Figura 3. *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316. a. Células (40x); b. Aspecto de colonias.

Fuente: Jimmy Alexander Zapata Narváez

R. mucilaginosa produce β-caroteno, toruleno y torularhodina (Sharma & Ghoshal, 2021), los cuales están involucrados en la protección de las células contra las especies reactivas de oxígeno (ROS) inducidas por la irradiación excesiva de la radiación UV y el estrés abiótico (Li et al., 2022).

Como agente de control biológico, *R. mucilaginosa* se ha evaluado en el control de patógenos poscosecha como *Penicillium digitatum* en naranjas y se ha observado que la inoculación de la levadura reduce la germinación de lo conidios del patógeno entre un 70 y un 85 % (Ahima et al., 2020). De otra parte, estudios desarrollados por Abd El-Wahed et al. (2024) demostraron que la inoculación de *R. mucilaginosa* al suelo puede reducir hasta en un 60 % el marchitamiento vascular producido por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en tomate en condiciones de invernadero, lo cual contribuye adicionalmente con una mayor tolerancia al estrés hídrico al aumentar los contenidos de fenol y flavonoides en las plantas.

AGROSAVIA realizó el aislamiento de poblaciones de levaduras epífitas en la filosfera de plantas de cultivos de mora (*Rubus glaucus*). Las cepas de levaduras obtenidas fueron caracterizadas mediante parámetros ecofisiológicos como su crecimiento óptimo en diferentes rangos de pH y temperatura, así como la adherencia a la superficie foliar y su tolerancia a la radiación ultravioleta B (UVB). Además, se analizó su actividad biocontroladora sobre *B. cinerea*, proceso en el cual se destacó la levadura *R. mucilaginosa* Lv316. En bioensayos de laboratorio bajo condiciones controladas, esta cepa redujo un 82 % la incidencia del moho gris en flores de mora cuando se aplicó 24 horas antes de la inoculación del patógeno (Zapata et al., 2011). De igual forma, en pétalos de rosa de la variedad Vendela, redujo la incidencia de la enfermedad hasta un 80 % cuando fue inoculada de manera simultánea con el patógeno (Zapata-Narváez et al., 2016).

En condiciones de cultivo comercial de mora, se evaluó un prototipo de bioplaguicida líquido a base de *R. mucilaginosa* Lv316 (identificada previamente como *R. glutinis* Lv316) para el control del moho gris y se obtuvo una reducción de la incidencia de la enfermedad de entre el 40 y el 60 %, con resultados similares o superiores a las aplicaciones de difeconazole, procloraz y carbendazim (Zapata & Cotes, 2013).

Conclusiones

Las levaduras, y en específico *Rhodotorula mucilaginosa*, son agentes de biocontrol con un alto potencial debido a su capacidad para competir por nutrientes, producción de enzimas y formar biopelículas que aumentan la persistencia y la eficacia, lo que les permite controlar eficazmente patógenos en cultivos y en condiciones de poscosecha.

El uso de levaduras como bioplaguicidas representa una alternativa sostenible y comparable en eficacia a los fungicidas químicos, lo cual contribuye a la reducción del impacto ambiental y al manejo integrado de enfermedades en la agricultura.

Referencias

Abd El-Wahed, M. H., Almasoudi, N. M., Abo-Elyousr, K. A., & Hadeel M. M. (2024). The mitigating effect of *Rhodotorula mucilaginosa* on Fusarium wilt-induced stress in tomato plants under different irrigation levels. *Journal of Plant Pathology, 106,* 139-151. https://doi.org/10.1007/s42161-023-01528-5

Ahima, J., Zhang, H., Apaliya, M. T., Yang, Q., & Jiang, Z. (2020). The mechanism involved in enhancing the biological control efficacy of *Rhodotorula mucilaginosa* with salicylic acid to postharvest green mold decay of oranges. *Journal of Food Measurement and Characterization, 14,* 3146-3155. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00559-1

Freimoser, F. M., Rueda-Mejia, M. P., Tilocca, B., & Migheli, Q. (2019). Biocontrol yeasts: mechanisms and applications. *World Journal of Microbiology & Biotechnology, 35*(10), 154. https://doi.org/10.1007/s11274-019-2728-4

Gouka, L., Raaijmakers, J. M., & Cordovez, V. (2022). Ecology and functional potential of phyllosphere yeasts. *Trends in plant science, 27*(11), 1109-1123. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.06.007

Kowalska, J., Krzymińska, J., & Tyburski, J. (2022). Yeasts as a potential biological agent in plant disease protection and yield improvement–A short review. *Agriculture, 12*(9), 1404. https://doi.org/10.3390/agriculture12091404

Li, Z., Li, C., Cheng, P., & Yu, G. (2022). *Rhodotorula mucilaginosa*-alternative sources of natural carotenoids, lipids, and enzymes for industrial use. *Heliyon, 8*(11), e11505. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11505

Lima, G., De Curtis, F., Castoria, R., & De Cicco, V. (1998). Activity of the yeast *Cryptococcus laurentii* and *Rhodotorula glutinis* against post-harvest rots on different fruits. *Biocontrol Science Technology, 8*, 257-267. https://doi.org/10.1080/09583159830324

Mohammed, Y. M., Saad, M. M., & Abdelgaleil, S. A. M. (2021). Production, characterization and bio-emulsifying application of exopolysaccharides from *Rhodotorula mucilaginosa* YMM19. *3 Biotech, 11*, 349. https://doi.org/10.1007/s13205-021-02898-2

Pollard, T., & Wu, J. Q. (2010). Understanding cytokinesis: lessons from fission yeast. *Nature Reviews Molecular Cell Biology, 11*, 149-155. https://doi.org/10.1038/nrm2834

Sharma, R., & Ghoshal, G. (2021). Characterization and cytotoxic activity of pigment extracted from *Rhodotorula mucilaginosa* to assess its potential as bio-functional additive in confectionary products. *Journal of Food Science and Technology, 58*(7), 2688-2698. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04775-x

Wang, Y., Lo, W. C., & Chou, C. S. (2017). A modeling study of budding yeast colony formation and its relationship to budding pattern and aging. *PLoS Computational Biology, 13*(11), e1005843. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005843

Wisniewski, M., Biles, C., Droby, S, R., Wilson, C., & Chalutz, E. (1991). Mode of action of the postharvest biocontrol yeast, *Pichia guilliermondii.* I. Characterization of attachment to *Botrytis cinerea. Physiological and Molecular Plant Pathology, 39,* 245-258. https://doi.org/10.1016/0885-5765(91)90033-e

Zapata, J., & Cotes, A. M. (2013). Eficacia de dos prototipos de bioplaguicida a base de *Rhodotorula glutinis* cepa LvC07 y un bioplaguicida a base de *Trichoderma koningiopsis* cepa Th003 en el control de *B. cinerea* en cultivos de mora. En *Desarrollo de prototipos de bioplaguicida a base de Rhodotorula glutinis LvC07 para el control de Botrytis cinerea en cultivos de mora* (pp. 73-79). Corpoica. http://hdl.handle.net/20.500.12324/13072

Zapata, J., Acosta, C., Díaz, A., Villamizar, L., & Cotes, A. M. (2011). Characterization of *Rhodotorula glutinis and Pichia onychis* isolates with potential as biopesticides for controlling *Botrytis cinerea. Acta Horticulturae, 905,* 155-160. https://doi.org/10.17660/actahortic.2011.905.16

Zapata-Narváez, Y., Díaz, A., Grijalba, E., Rodríguez, F., Elad, Y., & Cotes, A. (2016). Phyllosphere yeasts with potential for biological control of *Botrytis cinerea* in rose. *Acta Horticulturae, 1144,* 77-84. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1144.11





Capítulo III. Desarrollo de bioinsumos en Colombia: caso Nalev® para el control de moho gris *Botrytis cinerea*

Desde el contexto nacional para la producción agrícola en Colombia, los programas de manejo –nutrición, plagas y enfermedades– están entre los principales aspectos que determinan la obtención de productos de alta calidad, inocuidad y rentabilidad. En este sentido, AGROSAVIA ha trabajado desde hace más de 25 años en el desarrollo de bioinsumos para diversos sistemas agrícolas que están asociados a ventajas comparativas respecto a los sistemas de producción convencional, como menor impacto ambiental, menor impacto toxicológico, mayor inocuidad, menor generación de resistencia, mayor especificidad, mitigación de los efectos del cambio climático y mayor calidad de los productos finales, entre otros.

Para el caso específico de la producción de ornamentales, donde se incluye el cultivo de rosas, el trabajo se ha enfocado en el desarrollo de soluciones biológicas para el control de fitopatógenos de importancia tanto en etapas productivas como en cosecha, almacenamiento y transporte. En este sentido, el esquema de manejo del moho gris como patógeno foliar de importancia en etapas de pre y poscosecha incluye el uso de alternativas biológicas dentro de los esquemas de rotación que se manejan en las fincas productoras de ornamentales y que se orientan a una producción más sostenible e inocua, así como al aumento de la cantidad de principios activos y la diversidad de los mecanismos de acción contra el patógeno para disminuir el riesgo de desarrollo de resistencia a moléculas de síntesis química que este presenta hace más de siete décadas (Elad, 1990).

Dentro de las alternativas de control biológico del moho gris mediante el uso de microorganismos, se ha trabajado con organismos con diversos mecanismos de acción, cuyo éxito depende de las condiciones ambientales, el hospedero, las prácticas de manejo cultural y el uso de agroquímicos, entre otros (Roca-Couso et al., 2021). Entre los microorganismos investigados, se destacan bacterias de los géneros *Bacillus* spp., *Pseudomonas* sp., *Pantoea* sp. y *Streptomyces* spp. (Haidar et al., 2016); hongos como *Trichoderma* spp. y *Gliocladium* sp. (Sui et al., 2025), y levaduras de los géneros

Rhodotorula sp., *Aureobasidium* sp., *Suhomyces* sp., *Pichia* sp. y *Yarrowia* sp. (Gomomo et al., 2025; Karimi et al., 2025), algunos de los cuales son ingredientes activos de biocontroladores disponibles comercialmente.

Aunque se ha realizado un número importante de investigaciones sobre control biológico de fitopatógenos, solo una pequeña fracción de bioinsumos registrados en Colombia tienen *Botrytis* sp. como blanco biológico. De los más de 400 bioinsumos registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), 276 son biocontroladores. De estos, solo 16 están autorizados para su uso en cultivos de rosas, flores y ornamentales y únicamente 8 contienen agentes microbianos como ingrediente activo. Dentro de este grupo, solo tres productos tienen como blanco biológico *B. cinerea* (figura 4). Todos se basan en solo dos principios activos que corresponden a *Bacillus* spp. y *Trichoderma* sp., entre los cuales se destaca un biocontrolador a base de *Bacillus amyloliquefaciens* y otro con *Trichoderma koningiopsis* (ICA, 2025).

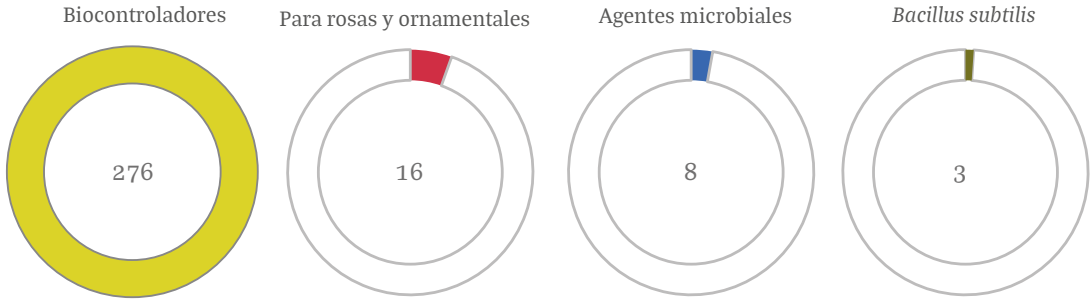


Figura 4. Insumos para cultivos de rosas y ornamentales basados en agentes microbiales y registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)

Fuente: Paola Cuartas Otálora

Esta brecha entre la investigación y la cantidad de insumos biológicos disponibles para el control de la enfermedad se debe a la complejidad y las capacidades, principalmente en las etapas de escalamiento y llegada al mercado, para el desarrollo de productos de alto nivel tecnológico, estabilidad y eficacia que puedan ser incorporados en los esquemas de manejo integrado. Para el desarrollo de bioinsumos, AGROSAVIA ha identificado un proceso de cinco etapas: (i) ideación, (ii) prueba concepto, (iii) desarrollo, (iv) escalamiento y (v) registro y lanzamiento. Estas etapas son homologables a los niveles de madurez tecnológica (en inglés, *technology readiness levels* [TLR]) con los que se desarrolla cualquier tecnología (figura 5) y son un instrumento empleado a escala global para valorar el progreso desde su creación hasta su comercialización, con el fin de establecer hitos claves que permitan acelerar su desarrollo y llegada a mercado o su aplicación en entornos

reales. En el proceso establecido en AGROSAVIA, se incluyen actividades de evaluación de la prefactibilidad técnica (agente controlador, características, actividad biológica, etc.) y económica, *benchmarking* de productos disponibles en el mercado, vigilancias tecnológicas y patentabilidad, y se trabaja con desarrollos de nicho especifico. Además, se analizan otros factores clave como la identificación de las diferencias con desarrollos similares que ya estén disponibles en el mercado, a nivel de investigación e innovación, antes de cualquier desarrollo. Al terminar cada una de estas etapas, se cuenta con un proceso de chequeo que permite tomar decisiones oportunas antes de avanzar a una etapa posterior.

Así, al final del proceso de I+D se obtiene un producto registrado y que cumple con todas las disposiciones de registro del ICA como entidad regulatoria en el país, lo que garantiza su eficacia y seguridad para los usuarios. Por último, con base en las necesidades del mercado, se establece un modelo de negocio con el fin de garantizar su llegada al mercado y su disponibilidad en el país.

La propuesta de valor de un bioproducto es el conjunto de características que lo diferencian frente a otras alternativas disponibles en el mercado. Estas cualidades permiten satisfacer una necesidad, al tiempo que generan beneficios y valor agregado al ser adoptados en el sistema productivo (Osterwalder et al., 2014).

Nalev® es el resultado del proceso de innovación y desarrollo de bioproductos de AGROSAVIA. Se trata de un biocontrolador a base de *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316, como alternativa biológica para el control del moho gris. Entre las ventajas competitivas que sustentan su promesa de valor, se encuentran, entre otros aspectos (figura 6), su principio activo innovador, ya que se trata de una levadura cuya cepa es nativa de Colombia. Así mismo, cuenta con varios mecanismos de acción que incluyen principalmente la competencia por espacio y nutrientes, pero también mecanismos como el parasitismo, la lisis y la producción de compuestos antimicrobianos (Li et al., 2011), propiedades que lo diferencian de otros microorganismos utilizados comúnmente en productos alternativos.

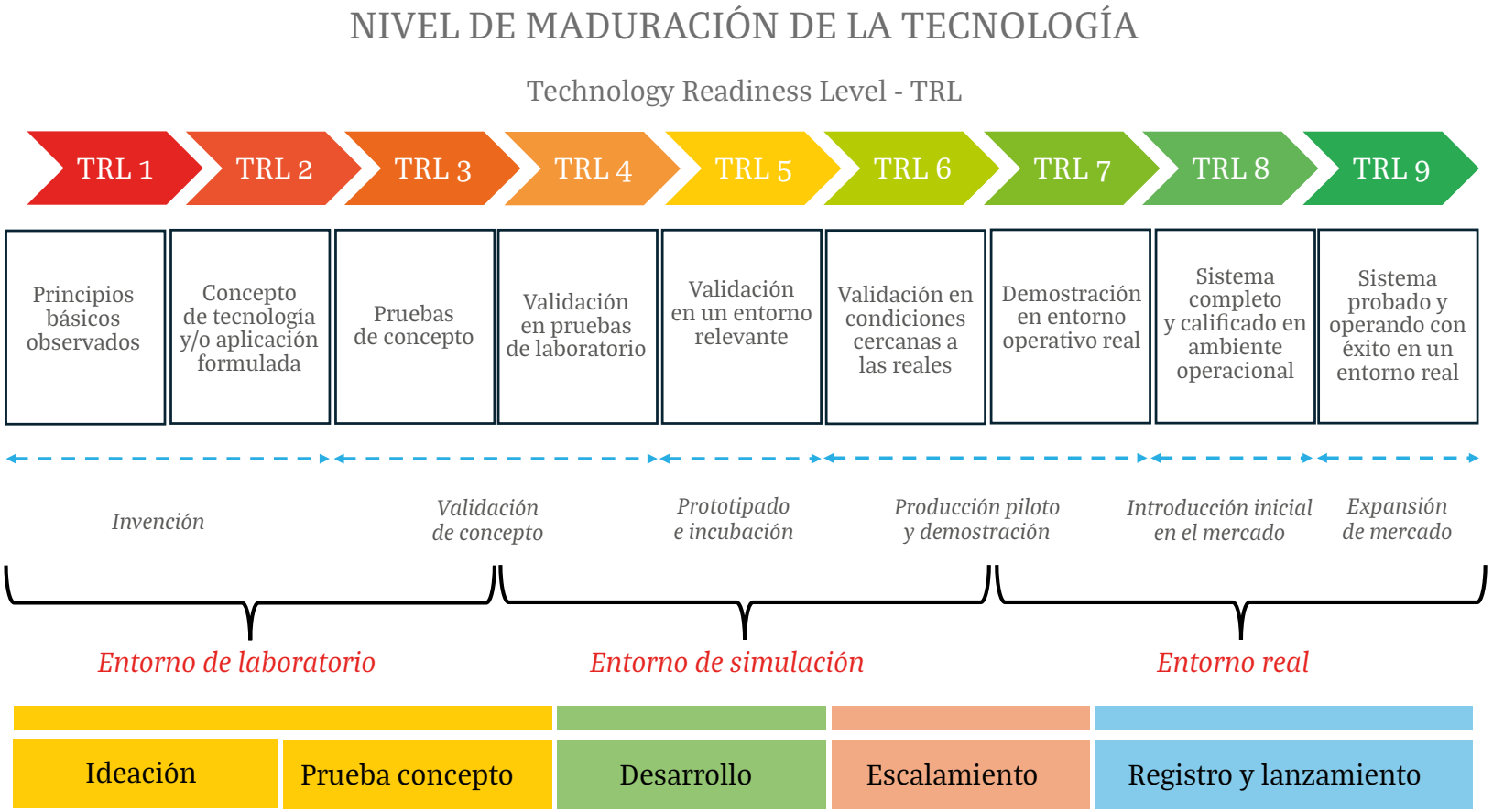


Figura 5. Niveles de madurez tecnológica.

Fuente: Adaptado de Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias, 2016)



***Rhodotorula mucilaginosa* Lv316**
Formulado a base de una cepa de levadura epífita nativa.

Eficacia comprobada
Control de moho gris ***Botrytis cinerea*** similar al manejo tradicional.

Concentración de 1 x 10^9 UFC/g y múltiples mecanismos de acción contra ***Botrytis cinerea,*** como competencia por nutrientes, parasitismo y lisis.

Rápida desintegración
Producto **homogéneo** de fácil disolución en agua.

Estabilidad
Estable en almacenamiento sin necesidad de refrigeración.

Adaptabilidad
Coloniza rápidamente la superficie de las plantas y limita el crecimiento del moho gris ***Botrytis cinerea.***

Compatible
con algunos fungicidas e insecticidas.

Alternativa
ideal para uso en esquemas de **manejo integrado del cultivo (MIC)**.

Figura 6. Promesa de valor de Nalev®.
Fuente: Jenny Moreno

Conclusiones

La experiencia de AGROSAVIA, a través del trabajo multidisciplinario, ha permitido aprovechar las oportunidades de mercado al responder con soluciones sostenibles basadas en microorganismos y llevar sus desarrollos en el laboratorio a escalas de producción comercial, garantizando así la disponibilidad de tecnologías innovadoras para los productores.

El bioplaguicida Nalev (*R. mucilaginosa* Lv316) es el resultado de un proceso riguroso de I+D+i que atiende a la problemática que representa el fitopatógeno *B. cinerea* en muchos sistemas productivos, incluyendo la producción de rosas bajo invernadero.

La promesa de valor de este bioplaguicida se basa en características únicas como su principio activo, su eficacia y su compatibilidad, lo que permite que sea integrado dentro de un esquema de rotación para el óptimo manejo del patógeno *B. cinerea* en sistemas de producción de rosas.

Referencias

Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias]. (2016). *Actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación* [Documento n.° 1602. Adoptada mediante Resolución n.° 1473 de 2016]. https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/politiciadeactores-snctei.pdf

Elad, Y. (1990). Reasons for the delay in development of biological control of foliar pathogens. *Phytoparasitica, 18*(2), 99-105. https://doi.org/10.1007/BF02981226

Gomomo, Z., Fanadzo, M., Mewa-Ngongang, M., Silas Chidi, B., Wallace Hoff, J., van der Rijst, M., Mokwena, L., Setati, M., & Wilbur du Plessis, H. (2025). The use of specific non-saccharomyces yeasts as sustainable biocontrol solutions against *Botrytis cinerea* on apples and strawberries. *Journal of Fungi, 11*(1), 26. https://doi.org/10.3390/jof11010026

Haidar, R., Fermaud, M., Calvo-Garrido, C., Roudet, J., & Deschamps, A. (2016). Modes of action for biological control of *Botrytis cinerea* by antagonistic bacteria. *Phytopathologia Mediterranea, 55*(3). 301-322. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-18079

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2025). *Registros de productos bioinsumos de uso agrícola.* Consultado marzo 3, 2025 en https://www.ica.gov.co/getdoc/957b5a45-a11c-4934-a0fc-86fa608aba2d/6-BD_PRODUCTOS-BIOINSUMOS_30-DE-ABRIL-DE-2024.aspx

Karimi, F., Koushesh Saba, M., & Ashengroph, M. (2025). *Yarrowia lipolytica* MBC25: A promising yeast strain for biocontrol of *Botrytis cinerea* in preharvest and postharvest decay of strawberries. *Physiological and Molecular Plant Pathology, 136.* https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102525

Li, R., Zhang, H., Liu, W., & Zheng, X. (2011). Biocontrol of postharvest gray and blue mold decay of apples with *Rhodotorula mucilaginosa* and possible mechanisms of action. *International Journal of Food Microbiology, 146*(2), 151-156. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.02.015

Osterwalder, A., Pigneur, Y., Bernarda, G., & Smith, A. (2014). *Value Proposition Design*. Wiley.

Roca-Couso, R., Flores-Félix, J., & Rivas, R. (2021). Mechanisms of action of microbial biocontrol agents against *Botrytis cinerea. Journal of Fungi,* 7(12), 1045. https://doi.org/10.3390/jof7121045

Sui, Y., Liao, Q., Leng, J., & Chen, Z. (2025). Eco-friendly biocontrol strategies for management of postharvest fungal decays in kiwifruit: A review. *International Journal of Food Microbiology, 432*(16). https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111106




MC
TÉCNICO
TÉCNICO

Capítulo IV.
Avances en la validación del uso de un prototipo a base de *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 (Nalev®)

Producción de biomasa de la levadura *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 mediante fermentación líquida

En general, para la obtención de elevadas cantidades de biomasa de cualquier microorganismo es necesario estudiar sus requerimientos nutricionales y las condiciones medioambientales óptimas para su multiplicación, ya que estos son los dos componentes principales que conforman un proceso de fermentación (figura 7).

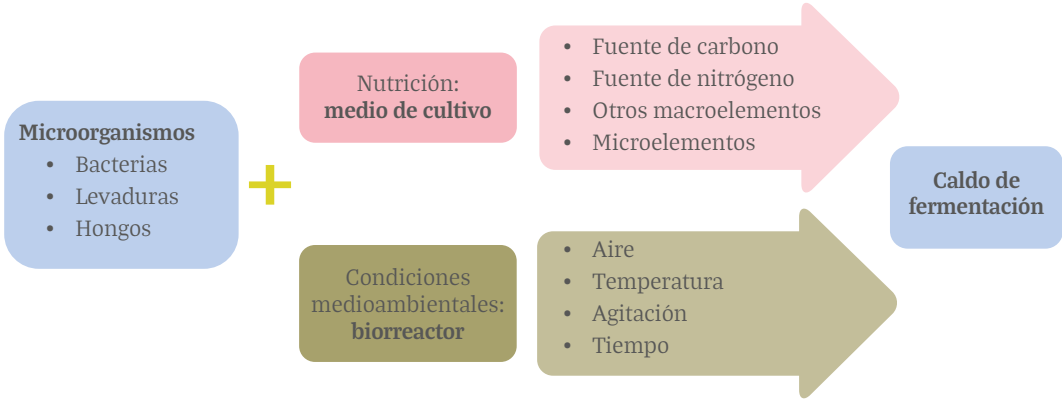


Figura 7. Componentes de un proceso de fermentación líquida estándar.

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar un proceso de fermentación estándar, se obtiene un caldo de fermentación complejo que contiene tanto la biomasa del microorganismo de interés como metabolitos secundarios excretados por el microorganismo y residuos del medio de cultivo en bajas proporciones.

Además de los dos factores previamente mencionados, otro componente esencial del proceso de fermentación es el fermentador o biorreactor, que se define como un equipo aséptico con una serie de sistemas que permiten el ajuste y control estricto de las principales variables que afectan el crecimiento de los microorganismos, tales como oxígeno disuelto, pH y temperatura. Existen múltiples configuraciones de biorreactores, pero los más usados son los fermentadores de tanque agitado, los fermentadores *airlift* y las columnas de burbujeo. Cada uno de estos posee relaciones geométricas y componentes internos únicos que los hacen adecuados para aplicaciones biotecnológicas específicas (figura 8).

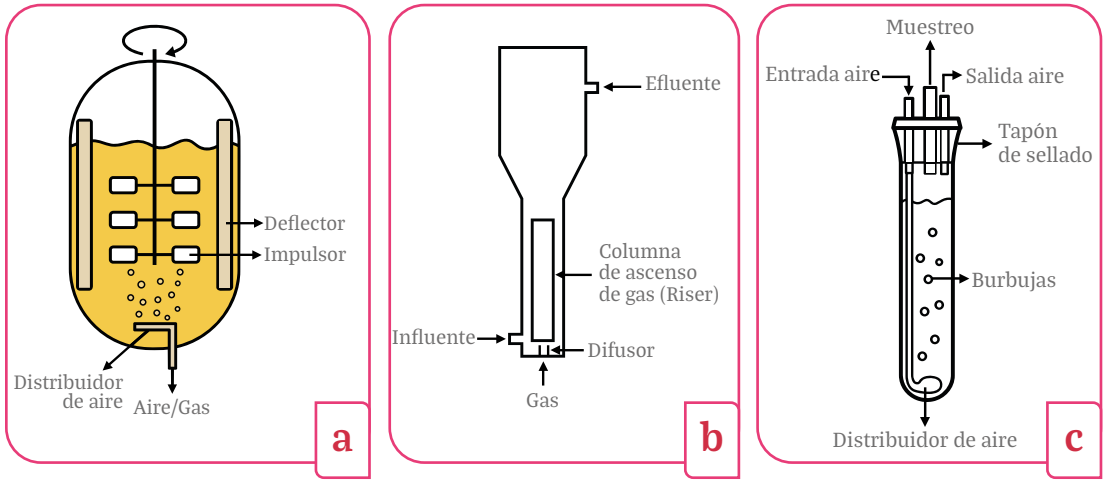


Figura 8. Biorreactores más utilizados en aplicaciones biotecnológicas. a. Biorreactor de tanque agitado empleado en la producción de biomasa microbiana o metabolitos (Karthikeyan et al., 2022); b. Biorreactor *airlift* empleado para el cultivo de microorganismos filamentosos, microalgas y tratamiento de aguas residuales (Borja-Aragón et al., 2017); c. Biorreactor tipo columna de burbujeo empleado para cultivo de microorganismos aerobios (Ramírez Duque, 2017).

Escalamiento del proceso de fermentación líquida

Para alcanzar niveles de producción de biomasa a gran escala o industriales, es fundamental realizar la transición desde la producción a pequeña escala en laboratorio hacia volúmenes intermedios o escala piloto que permitan un análisis y validación de estrategias de escalamiento basadas en herramientas y conceptos de ingeniería que permiten identificar los factores críticos que más efecto tienen sobre la producción de biomasa del microorganismo. Sobre estos factores se realiza un análisis detallado para predecir su comportamiento durante la fermentación, independientemente de la escala, asegurando así la calidad del bioproducto, incluida la viabilidad del microorganismo y su actividad biológica.

Aplicación práctica: producción de biomasa de la levadura *R. mucilaginosa* Lv316 en AGROSAVIA

En el caso de la levadura *R. mucilaginosa* Lv316, en AGROSAVIA se llevaron a cabo estudios para diseñar un medio de cultivo económico y eficiente a escala de laboratorio con el que se obtuvo 7,57 g/L de biomasa seca (Díaz & Mejía, 2013). Posteriormente, se generó una estrategia de escalado hacia arriba basada en el coeficiente de transferencia de oxígeno (k_La), una variable relacionada directamente con la aireación, que es clave en los procesos aerobios (Díaz García et al., 2014). Al finalizar el proceso de validación, se obtuvo un proceso de fermentación de *R. mucilaginosa* Lv316 escalado hasta planta piloto que consta de tres etapas (figura 9).

1. Producción de inóculos a escala de laboratorio en Erlenmeyer a partir de crioviales conservados a -20 °C.
2. Producción de biomasa de *R. mucilaginosa* Lv316 en biorreactor de 13 litros a escala de laboratorio, que se usa como semilla de la escala subsiguiente.
3. Producción masiva *R. mucilaginosa* Lv316 en biorreactor de 50 litros a escala piloto.

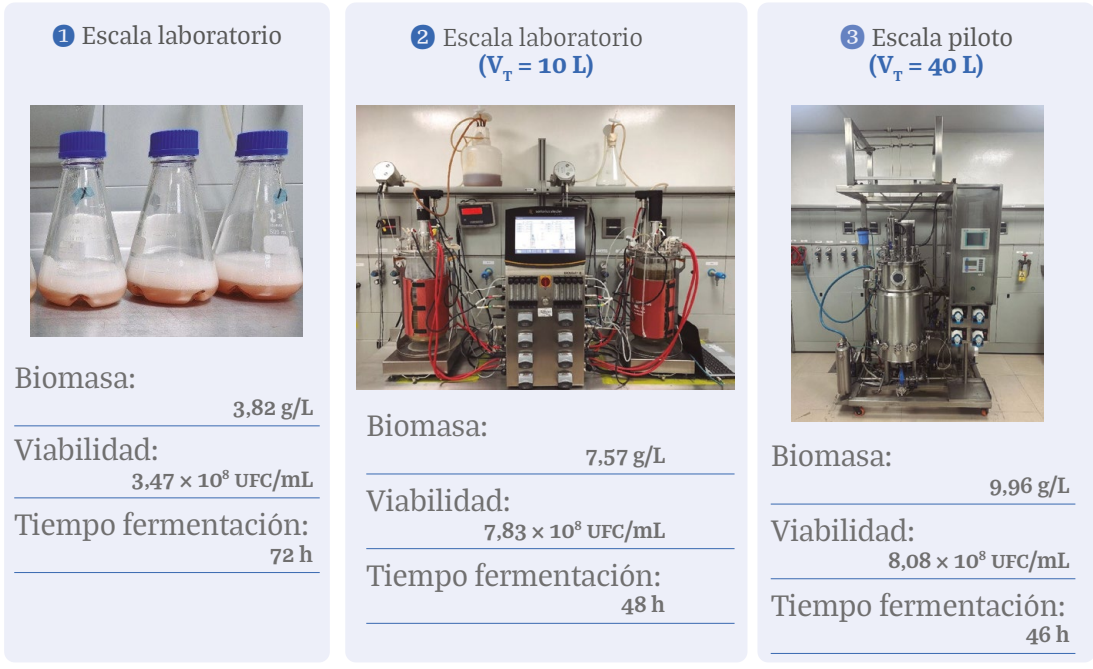


Figura 9. Etapas del proceso de fermentación líquida para la producción de biomasa de la levadura *R. mucilaginosa* Lv316 y valores de biomasa seca y viabilidad obtenidos en cada una.

Nota: V_T = Volumen de trabajo.

Fotos: Andrés Diaz Garcia

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que a medida que se incrementa la escala de producción también se incrementan los costos asociados debido al mayor uso de recursos y materias primas. Por esta razón también es necesario optimizar los parámetros operativos para utilizar eficientemente los recursos y obtener la mayor cantidad de biomasa con la calidad requerida.

Separación de biomasa de la levadura *R. mucilaginosa* Lv316

Los procesos de fermentación en biorreactores suelen ir acompañados de etapas posteriores como la separación, cuyo objetivo es recuperar o cosechar, con la mayor eficiencia posible, los microorganismos o metabolitos deseados, que se convertirán en el ingrediente activo del bioproducto.

Dentro de las técnicas más empleadas para la separación de biomasa proveniente de procesos de fermentación encontramos la centrifugación y la filtración. La centrifugación se fundamenta en la precipitación de las partículas suspendidas en un líquido hacia el fondo al hacerlo girar rápidamente mediante la aplicación de una fuerza centrífuga que hace que el proceso sea rápido y eficiente, con la limitante de que se requieren equipos especializados (Aroca & Zúñiga, 2011).

La filtración emplea la presión ejercida contra un líquido, ya sea usando un medio filtrante que separará lo sólido de lo líquido para formar una torta de filtración o empleando membranas con poros que retendrán las partículas que sean mayores al tamaño del poro y dejen pasar las que sean inferiores a ese tamaño; de esta manera selectiva se pueden recuperar los sólidos deseados (Aroca & Zúñiga, 2011).

Estas dos técnicas se evaluaron para la recuperación o cosecha de biomasa de *R. mucilaginosa* Lv316 (figura 10) y se obtuvo la mayor eficiencia con la centrifugación, con un valor de 83,2 %, frente a la filtración, con un valor de 47,4 %. La fórmula empleada fue: Eficiencia de recuperación (%) = (Biomasa cosechada después de la separación (g) / Biomasa en el caldo de fermentación (g)) × 100.

Centrífuga (Avanti JXN-26)

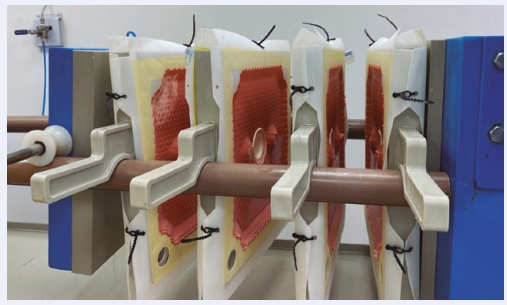


Volumen de caldo de fermentación procesado: **30 L**

Biomasa cosechada: **1.200 g**

Concentración biomasa: **4,60 × 10^9 UFC/g**

Filtro prensa (Andritz 400X)



Volumen de caldo de fermentación procesado: **40 L**

Biomasa cosechada: **1.069 g**

Concentración biomasa: **1,40 × 10^8 UFC/g**

Figura 10. Comparación de dos técnicas de separación para recuperación o cosecha de biomasa de la levadura *R. mucilaginosa* Lv316 proveniente de un proceso de fermentación líquida.

Fuente: Jinneth Lorena Castro Mayorga

Dado que la centrifugación presentó una eficiencia significativamente superior frente a la filtración para la recuperación de biomasa de *R. mucilaginosa* Lv316, se decidió emplear esta técnica como método estándar de separación en el proceso de producción del bioplaguicida Nalev®.

Conclusiones

El escalamiento del proceso de fermentación de la levadura *R. mucilaginosa* Lv316 fue exitoso, ya que el proceso estandarizado mostró un incremento progresivo en la producción de biomasa seca, que pasó de 3,82 g/L en la escala de laboratorio a 9,96 g/L en la escala piloto. Paralelamente, la concentración celular aumentó de 3,47 × 10^8 UFC/mL a 8,08 × 10^8 UFC/mL, lo que evidencia la eficacia de la estrategia de escalado aplicada, la cual tiene una base fenomenológica fundamentada en el coeficiente de transferencia de oxígeno (k_La). Adicionalmente, el tiempo de fermentación se redujo de 72 horas en la escala de laboratorio a 46 horas en la escala piloto, lo que representó una mejora significativa en la productividad del proceso.

La centrifugación fue el método de separación más eficiente para la recuperación de biomasa de *R. mucilaginosa* Lv316, con una eficiencia de recuperación del 83,2 % que supera significativamente la filtración, que alcanzó apenas un 47,4 %. Además, la biomasa recuperada por centrifugación presentó una concentración celular notablemente superior

($4{,}60 \times 10^9$ UFC/g) en comparación con la obtenida por filtración ($1{,}40 \times 10^8$ UFC/g), lo que representa una concentración de células viables aproximadamente 33 veces mayor.

La implementación de un proceso de fermentación en tres etapas, con biorreactores de tanque agitado, permite la producción escalable y controlada de biomasa de *R. mucilaginosa* Lv316 con la calidad adecuada para ser usada en las etapas posteriores de formulación del bioproducto.

Diseño de un sistema de entrega para la levadura *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316

Para formular el bioproducto Nalev®, se partió de la biomasa húmeda de *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 obtenida al final del proceso de fermentación. A partir de ahí, se siguieron una serie de pasos clave para garantizar que el microorganismo conserve su viabilidad y estabilidad durante el proceso de manufactura, almacenamiento y aplicación para asegurar su eficacia en campo. En esta sección, se presentan las metodologías que se usaron para transformar esa biomasa en un producto estable y funcional, y se hace énfasis en la selección de los excipientes de formulación y el proceso de control de calidad.

¿Qué se hizo?

Se diseñó un sistema de entrega para *R. mucilaginosa* Lv316 que consistió en un granulado dispersable, con el objetivo de preservar sus características durante el almacenamiento y facilitar su aplicación en campo. Para ello, en primer lugar, se seleccionaron los excipientes más adecuados con base en su función en la formulación, disponibilidad y costo. Una vez definidos los excipientes y estandarizado el proceso de formulación, se evaluaron las características microbiológicas (viabilidad celular y contenido de contaminantes) y las variables fisicoquímicas (pH, tamaño de partícula y desintegración) del prototipo y su estabilidad en condiciones de almacenamiento a dos temperaturas (25 °C ± 2 °C y 6 °C ± 2 °C) durante 12 meses para garantizar su calidad y eficacia (figura 11).

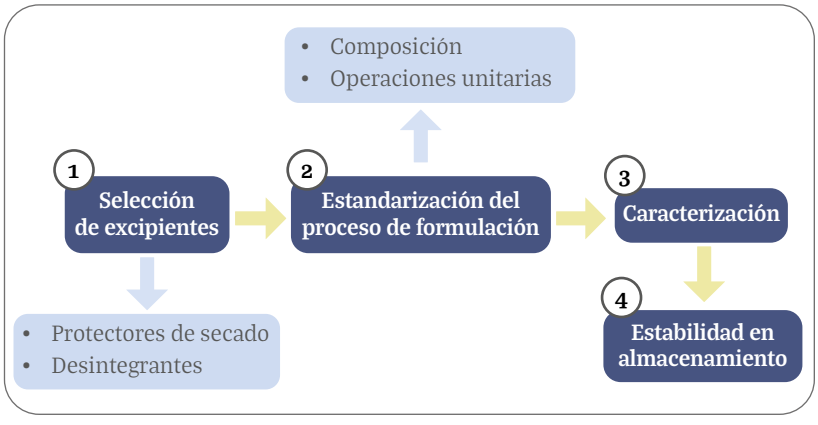


Figura 11. Diseño de un granulado dispersable a base de *R. mucilaginosa* Lv316.

Fuente: Elaboración propia

¿Cómo se hizo?

Paso 1. Selección de excipientes

Se realizó una prueba de compatibilidad entre la levadura y los excipientes que actúan como protectores de secado y desintegrantes. Los protectores de secado desempeñan un papel fundamental en la preservación de las células, ya que pueden formar una matriz de protección alrededor de estas que ayuda a mantener su integridad y funcionalidad durante el proceso de secado (Grasmeijer et al., 2013), o pueden actuar como solutos compatibles que reemplazan el agua y forman puentes de hidrógeno con las proteínas de membrana en condiciones de hidratación normal (Golovina et al., 2009). Por su parte, los desintegrantes facilitan la descomposición del granulado o tableta en partículas más pequeñas y, finalmente, en sus componentes individuales. Este proceso permite la liberación del ingrediente activo y mejora su biodisponibilidad, lo cual favorece su eficacia en la aplicación (Markl & Zeitler, 2017).

Protectores de secado. Se evaluaron ocho parejas de sustancias (T1 a T8). Estas sustancias se mezclaron con la biomasa de la levadura y se secaron hasta una humedad igual o inferior al 15 %, como se indica en la figura 12. Los resultados fueron expresados como pérdida de viabilidad, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$pv\ (\%)=(c\text{-}t)*100/c \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde *pv* es pérdida de viabilidad, *c* corresponde al logaritmo de la viabilidad del tratamiento control y *t* es el logaritmo de la viabilidad del tratamiento evaluado.

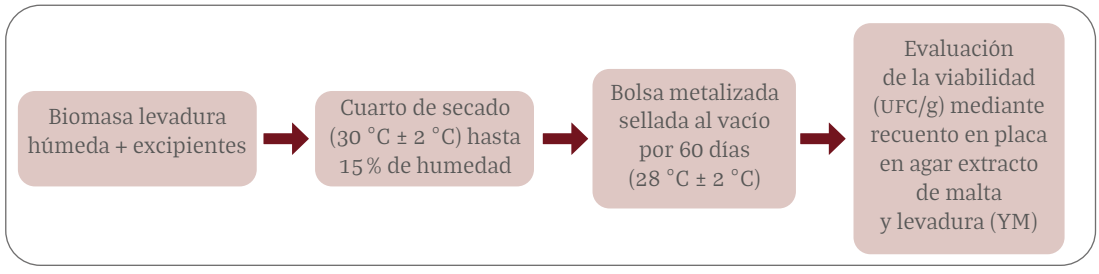


Figura 12. Metodología para seleccionar un protector de secado para el granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316.

Fuente: Elaboración propia

Desintegrantes. Se seleccionaron cinco sustancias, De05, De08, De09, De10 y De11, y se evaluaron a tres concentraciones, 10, 15 y 20 % (figura 13), siguiendo el protocolo GA-F-77 (AGROSAVIA, 2019). De acuerdo con el protocolo, se pesaron 5 g de granulado y se colocaron en un vaso de precipitado de 250 mL con 100 mL de agua destilada. Cuando el granulado se humectó, se colocó en agitación a 500 rpm y se midió el tiempo hasta que el gránulo se suspendió completamente.

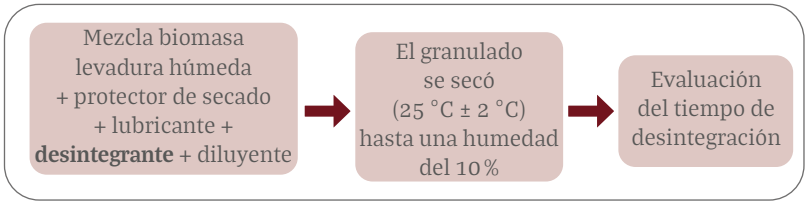


Figura 13. Metodología para seleccionar un agente desintegrante para el granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316.
Fuente: Elaboración propia

Los excipientes seleccionados como protector de secado y desintegrante fueron empleados para elaborar el prototipo de formulación correspondiente al granulado dispersable al mezclarlos con la levadura *R. mucilaginosa* Lv316. Con este granulado se continuó el proceso de desarrollo de la formulación.

Paso 2. Caracterización fisicoquímica del granulado

Tamaño de partícula. Se determinó por granulometría, siguiendo la metodología de la Norma Técnica Colombiana NTC 326, según la cual se emplea una batería de tamices, donde el de mayor tamaño de malla es de 1 mm, seguido de 850 micras, 500 micras, 150 micras y el colector.

Tiempo de desintegración. Se evaluó de la forma descrita anteriormente, en el paso 1.

pH: Se tomó 1 g de producto y se suspendió en 50 mL de agua. La lectura del pH se hizo con un potenciómetro Consort® previamente calibrado.

Paso 3. Estudio de estabilidad en almacenamiento

El granulado envasado en bolsas metalizadas, selladas al vacío, fue almacenado durante 12 meses a una temperatura de refrigeración de 6° C ± 2 °C y de 25 °C ± 2 °C. Cada trimestre se tomaron muestras para evaluar la viabilidad y el contenido de bacterias, hongos y levaduras contaminantes de la siguiente manera:

Viabilidad. Mediante la técnica de recuento en placa en agar YM, se tomó una muestra inicial de 1 g y se realizaron diluciones seriadas en una solución estéril de NaCl al 0,85 %. Finalmente, las cajas inoculadas con 0,1 mL se incubaron por 48 horas a una temperatura de 28 °C ± 2 °C.

Contenido de contaminantes. También mediante la técnica de recuento en placa, se evaluó el contenido de bacterias en agar nutritivo (AN); el de hongos, en agar papa dextrosa (PDA); y el de levaduras contaminantes, en agar YM. Las cajas de AN se incubaron a 28 °C ± 2 °C por 24 horas, las cajas de PDA se incubaron a 25 °C ± 2 °C por 7 días y, finalmente, las cajas de YM se incubaron por 48 h a 28 °C ± 2 °C.

¿Qué se obtuvo?

Selección de excipientes

Protectores de secado. Después de 60 días de almacenamiento, el tratamiento control presentó una pérdida de viabilidad de 8,57 %, en tanto que los tratamientos T2, T5, T6, T7 y T8 presentaron valores de pérdida de viabilidad superiores al control, en el rango de 11,21 % a 48,36 %, lo cual evidencia un efecto negativo de esas sustancias sobre la levadura

Lv316. Solo dos tratamientos, codificados como T3 y T4, presentaron valores de pérdida de germinación menores en comparación con el control, lo que indica que no afectan la viabilidad de la levadura. El tratamiento T4 que se mantuvo estable durante 60 días, sin perder viabilidad, fue seleccionado como protector de secado para el desarrollo del granulado (figura 14).

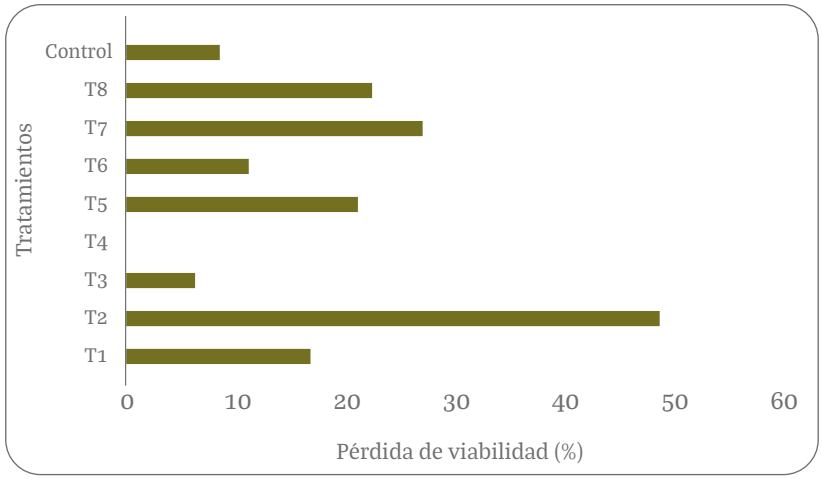


Figura 14. Selección de protectores de secado para el granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316.
Fuente: Elaboración propia

Desintegrantes. El granulado con el desintegrante De08 a una concentración del 5 % (tabla 1) presentó el menor tiempo de desintegración y fue seleccionado para elaborar el granulado final.

Tabla 1. Ensayo de selección de desintegrantes

Excipiente (desintegrante)	Concentración (%)	Desintegración del granulado (minutos)
De05	5	7,00
	10	6,00
	15	6,06
De08	5	1,00
	10	5,00
	15	7,00
De09	5	7,00
	10	4,12
	15	5,14
De10	5	3,00
	10	7,00
	15	7,00
De11	5	7,00
	10	7,00
	15	7,00

Fuente: Elaboración propia

Además del protector de secado y el desintegrante, otros excipientes, como el diluente y el acondicionador de humedad, forman parte de la composición del granulado y son adicionados durante el proceso de mezcla, ya que ayudan a dar forma al granulado y lograr el punto de granulación adecuado (figura 15).



Figura 15. Proceso de mezcla y granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316. a. Proceso de mezcla; b. Granulado.

Fuente: Erika Paola Grijalba Bernal

Caracterización fisicoquímica del granulado

Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de tres lotes (tabla 2). El pH presentó un rango de 7,0 a 9,0 y el tiempo de desintegración fue inferior a 180 segundos.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del granulado a base de la levadura *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316

Variables fisicoquímicas		
	pH	**Desintegración (segundos)**
Lote 1	**8,96**	**38**
Lote 2	**8,69**	**50**
Lote 3	**7,56**	**32**
Promedio	**8,40**	**40**

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 16 se presentan los resultados correspondientes a la evaluación del tamaño de partícula. El mayor número de partículas se encuentra en el rango de 850 a 999 µm, y los menores, en los rangos de tamaño inferiores a 850 µm. Estos resultados permiten inferir que el porcentaje de finos en el granulado es bajo, característica que es deseable, ya que las partículas con un rango de tamaño de 1 a 5 µm representan un riesgo para la salud porque se pueden depositar en los alvéolos pulmonares y bronquiales por sedimentación (Crowder et al., 2002).

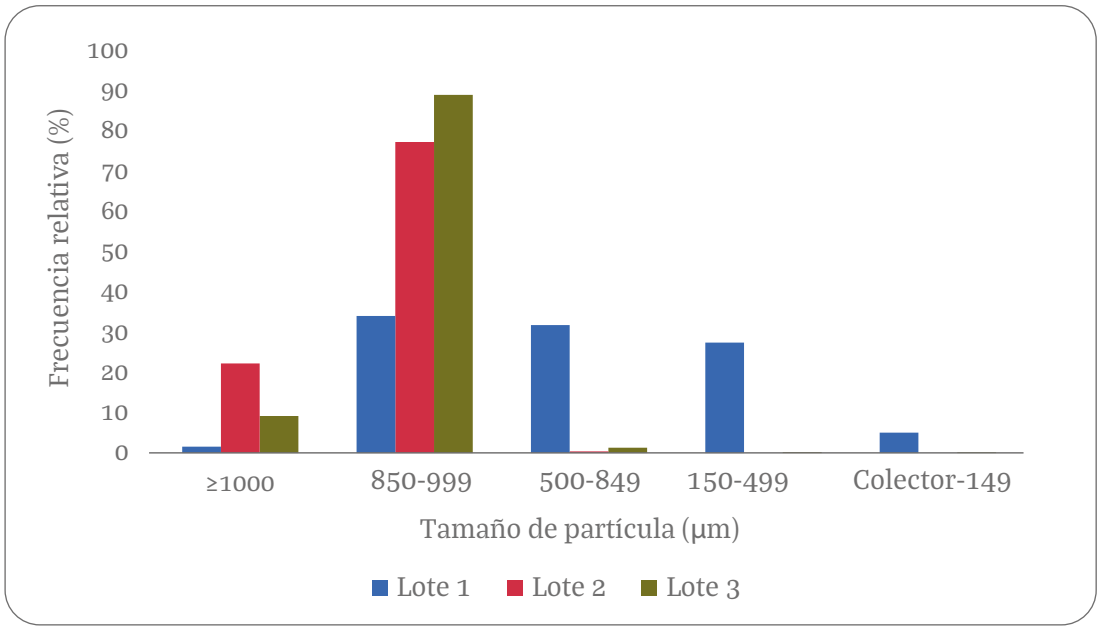


Figura 16. Distribución de frecuencias del tamaño de partícula del granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316.
Fuente: Elaboración propia

Estudio de estabilidad en almacenamiento

Los resultados de la prueba de estabilidad del producto Nalev® (*R. mucilaginosa*) realizada durante un periodo de 12 meses se presentan en la figura 17. A una temperatura de 6 °C, la viabilidad de *R. mucilaginosa* Lv316 se mantuvo constante o superior a 1×10^9 UFC/g a lo largo del periodo evaluado, sin presentar una reducción significativa en la viabilidad después de 12 meses de almacenamiento. A una temperatura de 25 °C, la viabilidad también permaneció en niveles iguales o superiores a 1×10^9 UFC/g durante 9 meses de almacenamiento, pero después de 12 meses se observó una reducción significativa que evidencia el efecto negativo de la temperatura más alta (figura 17).

En cuanto al contenido de contaminantes, para las dos temperaturas evaluadas, el recuento inicial de bacterias fue cercano a 10.000 UFC/g; sin embargo, tras 12 meses de almacenamiento, este valor disminuyó a menos de 100 UFC/g. Por su parte, el contenido de hongos y levaduras se mantuvo por debajo de 100 UFC/g en todos los tiempos evaluados.

Factores como el tipo de empaque y la atmósfera en la que se encuentra el producto, en este caso, bolsa tipo *doypack* de PET metalizado con empaque al vacío, y una baja humedad (<10 %) pueden limitar la disponibilidad de agua y oxígeno, lo que restringe el crecimiento de microorganismos contaminantes a lo largo del tiempo (Tortora et al., 2007).

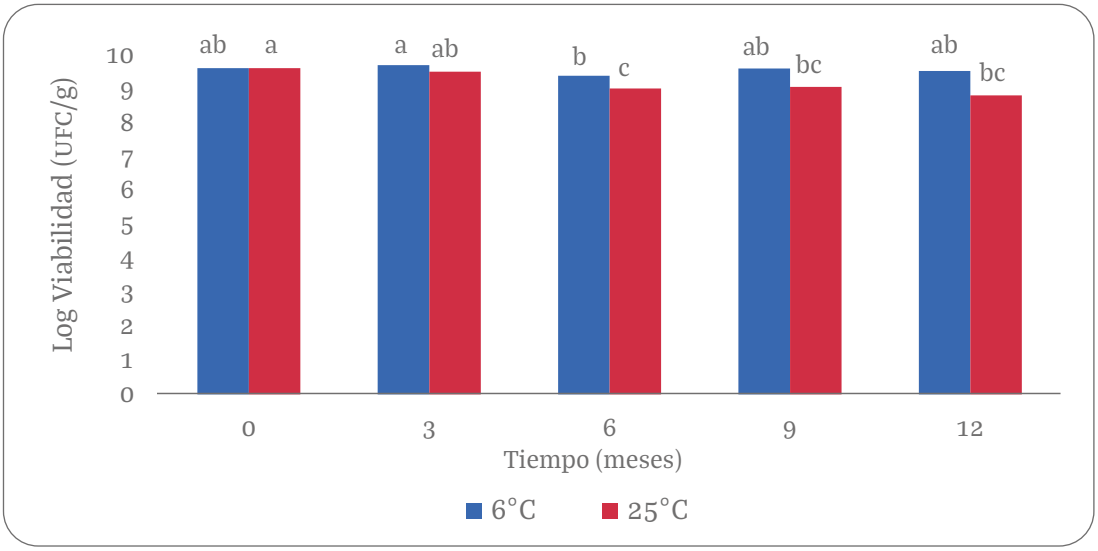


Figura 17. Estabilidad en almacenamiento del granulado a base de *R. mucilaginosa* Lv316.

Nota: Letras diferentes en cada grupo de columnas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 95 %.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El granulado elaborado con los excipientes seleccionados a partir de la prueba de compatibilidad, donde el tratamiento T4 actúa como protector de secado y el codificado como De08 como desintegrante, almacenado en bolsas tipo *doypack* de PET metalizadas selladas al vacío durante 12 meses en refrigeración y durante 9 meses a 25 °C, mantuvo su viabilidad sobre 1×10^9 UFC/g y el límite de contaminantes dentro de los rangos establecidos en el Departamento de Bioproductos de AGROSAVIA, según lo requerido para su registro y comercialización.

Control del moho gris en rosa por *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 en cultivos comerciales

Ante la necesidad de integrar alternativas de manejo para el moho gris que reduzcan la dependencia de fungicidas de síntesis química y mitiguen la aparición de cepas de *B. cinerea* resistentes a los fungicidas que aún presentan un adecuado control, se evaluó el prototipo de bioplaguicida Nalev® (basado en *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316) en diferentes temporadas de producción (años 2022 y 2023), en un cultivo de rosas en la Sabana de Bogotá.

El bioproducto fue evaluado en las variedades de rosa Orange Crush y Freedom, clasificadas como susceptible y medianamente susceptible respectivamente (Friedman et al., 2010; Mosqueda-Lazcares et al., 2011) (figura 18). Estas se encontraban sembradas en diferentes invernaderos en camas de 30 × 1,20 m, con una densidad de 7 plantas/m²

y pasillos de 60 cm. Durante cuatro semanas, desde la aparición del botón floral hasta la cosecha, se realizaron aspersiones foliares semanales (10 L/cama) mediante un aguilón con boquillas 80°-03. El experimento se distribuyó en bloques completos al azar, con tres repeticiones. Cada unidad experimental abarcó tres camas continuas y se utilizó la cama central para el muestreo.

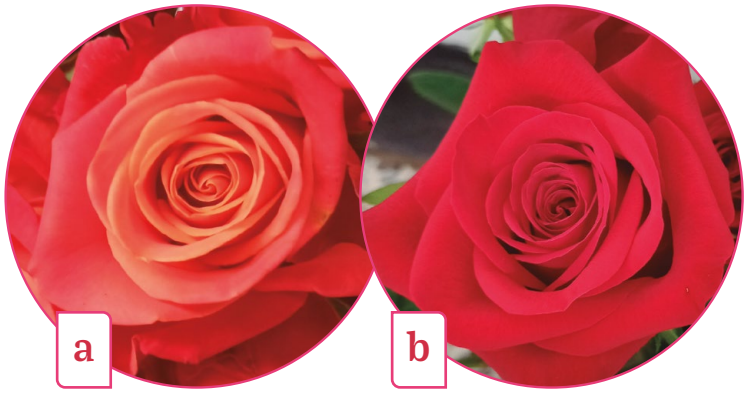


Figura 18. Rosas de dos variedades. a. Orange Crush; b. Freedom.

Fuente: Camilo Rubén Beltrán Acosta

Tras la cosecha, en la quinta semana, los tallos se colocaron en cámaras húmedas (20 °C ± 2 °C y 90 % de humedad relativa) durante siete días (figura 19). Simultáneamente, se conformaron ramos de 12 tallos para evaluar su vida en florero a una temperatura de 18 °C y se realizaron mediciones a los 7 y los 14 días (figura 20). En ambos escenarios, las variables de respuesta fueron la incidencia y la severidad del moho gris.

Tabla 3. Tratamientos evaluados para validar el control de Nalev® sobre *Botrytis cinerea* en cultivos de rosa en dos temporadas diferentes: la constante fue la concentración de uso recomendada de 1×10^7 células. mL^{-1}

Tratamientos	Ciclo 2022	Ciclo 2023
Nalev®	1×10^7 células. mL-1	5×10^6 células. mL^{-1}
	2×10^7 células. mL-1	1×10^7 células. mL^{-1}
Manejo de la finca	Rotación de fungicidas*	Rotación de fungicidas*

* Manejo de la finca: Rotaciones de los fungicidas boscalid, difenoconazol, procloraz, procymidone, tiabendazol, fluopyram-pyrimethanil y fludioxonil-ciprodinil.

Fuente: Elaboración propia

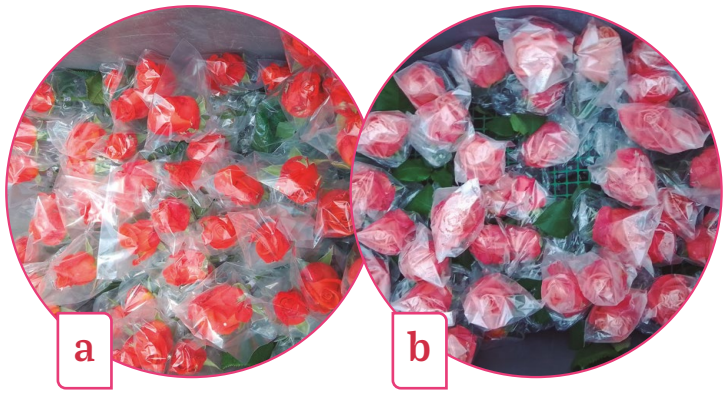


Figura 19. Tallos de rosas almacenados en cámaras húmedas. a. Orange Crush; b. Freedom.

Fuente: Yimmy Alexander Zapata Narváez



Figura 20. Ramos de rosas Orange Crush y Freedom dispuestos en floreros.

Fuente: Camilo Rubén Beltrán Acosta

Para determinar la severidad, se utilizó la escala descrita en la figura 21 y con esta se calculó el índice de severidad (IS) de acuerdo con la ecuación 2.

$$IS = \frac{\sum(nj \times si)}{N}$$ Ecuación 2

Donde *nj* = número de rosas en cada grado de severidad; *si* = valor de severidad del grado; y *N* = número total de rosas evaluadas.

Grado 0. Flor sin síntomas



Grado 1. Una a tres lesiones en un pétalo sin exceder el 25 % del área



Grado 2. Lesiones en un pétalo entre el 26 al 50 % del área



Grado 3. Lesiones en uno o más pétalos entre el 51 al 75 % de su área



Grado 4. Varios pétalos afectados entre el 76 al 100 % del área



Figura 21. Escala de severidad (grado 0 a 4) del moho gris en rosa.

Fuente: Yimmy Alexander Zapata Narváez y Camilo Rubén Beltrán Acosta

Al analizar los resultados obtenidos en la temporada 2022 en la prueba de cámara húmeda, en las dos variedades, no se presentaron diferencias significativas entre la aplicación del bioplaguicida y el esquema de manejo de la finca tanto para la incidencia como en el índice de severidad. El manejo de la finca en Orange Crush mostró la mayor incidencia (50 %) y el mayor IS (0,6), si bien en Freedom los resultados fueron similares (figura 22).



Figura 22. Incidencia e índice de severidad del moho gris en las dos variedades de rosas bajo las aplicaciones de Nalev® en las dos concentraciones evaluadas después de siete días en cámara húmeda para el ciclo evaluado en 2022.

Nota: Las letras indican diferencias significativas según la prueba de Fisher LSD ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En la evaluación de vida en florero para la variedad Orange Crush, el manejo de la finca registró una incidencia de moho gris del 36 % al séptimo día. Este valor superó significativamente a los tratamientos con bioplaguicida, los cuales mantuvieron una incidencia de ≤25 %. En dicho periodo, el índice de severidad para todos los tratamientos fue ≤0,7 (figura 23). Hacia el día 14, la incidencia se incrementó de forma generalizada y alcanzó un máximo del 41 % en el esquema de la finca. En cuanto a la severidad, Nalev® destacó con un índice de 1,0 frente al 1,6 observado en el manejo convencional (figura 23).

En la variedad Freedom, al séptimo día, la incidencia más alta de moho gris se registró en el manejo de la finca (18 %), con diferencias significativas frente a los tratamientos con el bioplaguicida (≤8,6 %). En este punto, el índice de severidad (IS) para todos los

tratamientos fue ≤0,3. No obstante, a los 14 días la incidencia en el manejo de la finca ascendió al 74 %, lo cual muestra una diferencia significativa respecto a las aplicaciones del bioplaguicida (≥92 %). Este incremento elevó el IS a 1,3 en el manejo de la finca y a un rango de 2,4 a 2,8 en las aplicaciones de Nalev® (figura 23).

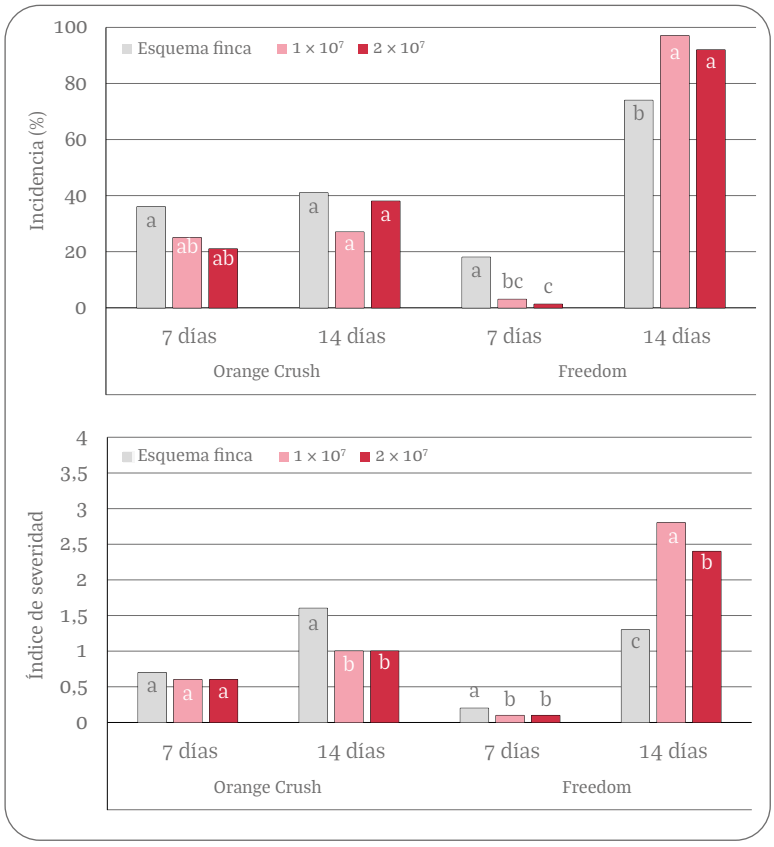


Figura 23. Incidencia e índice de severidad del moho gris en las dos variedades de rosas bajo las aplicaciones de Nalev® en las dos concentraciones evaluadas después de siete y catorce días en florero para el ciclo evaluado en 2022.

Nota: Las letras indican diferencias significativas según la prueba de Fisher LSD ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Para la temporada 2023, en cámara húmeda, la incidencia en Orange Crush fue similar entre los tratamientos (33 a 37 %) y no se presentaron diferencias significativas entre estos, pero para el IS se presentaron diferencias entre la aplicación de Nalev® a 1×10^7 células. mL^{-1} (IS 1,2) con relación al esquema de la finca y Nalev® a 5×10^6 células. mL^{-1} (IS de 0,7 y 0,8) (figura 24). De otra parte, las concentraciones de Nalev® evaluadas para Freedom (incidencia <52 %) presentaron diferencias significativas respecto al esquema de manejo de la finca (77 %), el cual presento también el mayor IS (1,7) (figura 24).

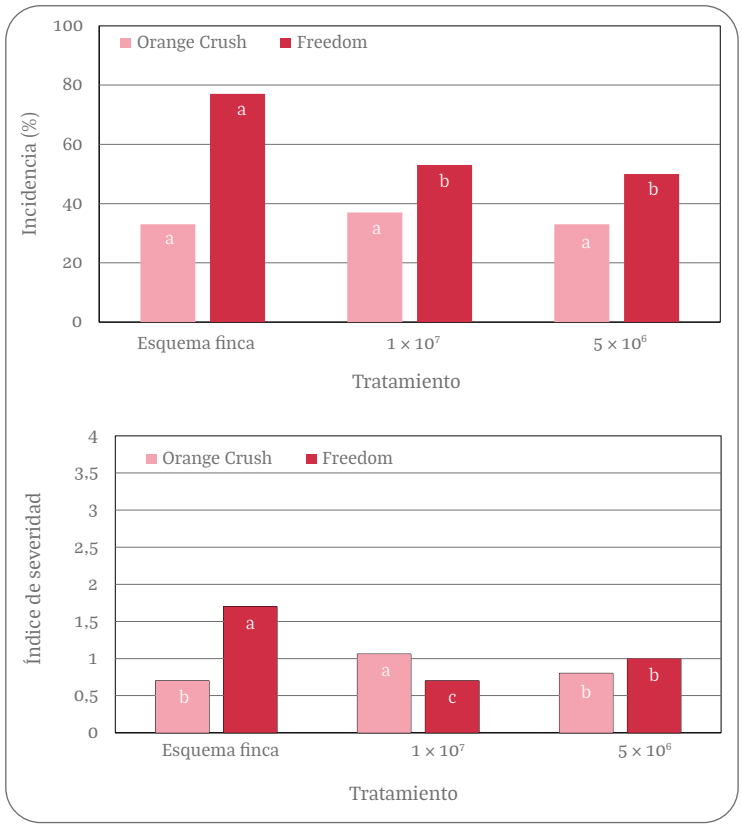


Figura 24. Incidencia e índice de severidad del moho gris en las dos variedades de rosas bajo las aplicaciones de Nalev® en las dos concentraciones evaluadas después de siete días en cámara húmeda para el ciclo evaluado en 2023.

Nota: Las letras indican diferencias significativas según la prueba de Fisher LSD ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Para la vida en florero, luego de siete días la incidencia del moho gris en la variedad Orange Crush fue del 5 % para el manejo finca y del 22 % para Nalev® a 5×10^6 células. mL^{-1}, por lo cual se presentan diferencias entre los tratamientos. En cuanto a la severidad, se obtuvo un IS ≤0,3 para el manejo de la finca y Nalev® a 1×10^7 células. mL^{-1} y de 0,7 con Nalev® a 5×10^6 células. mL^{-1} (figura 25). A los 14 días la incidencia fue del 12 % en el manejo de la finca y con Nalev® aplicado a 1×10^7 células. mL^{-1} con un IS ≤0,4, mientras que este aplicado a 5×10^6 células. mL^{-1} presentó una incidencia del 32 % y un IS de 1 (figura 25).

En Freedom, luego de siete días, la incidencia fue ≤8 % con el esquema de manejo de la finca y el bioplaguicida aplicado a 5×10^6 células. mL^{-1} y de 14 % cuando se aplicó a 1×10^7 células. mL^{-1}; teniendo esto en cuenta, el IS en todos los tratamientos fue ≤0,3. A los 14 días, la incidencia aumentó a un máximo de 67 % y el índice de severidad fue ≤1,2, donde se destaca en ambos casos la aplicación de Nalev® a 5×10^6 células. mL^{-1} (figura 25).

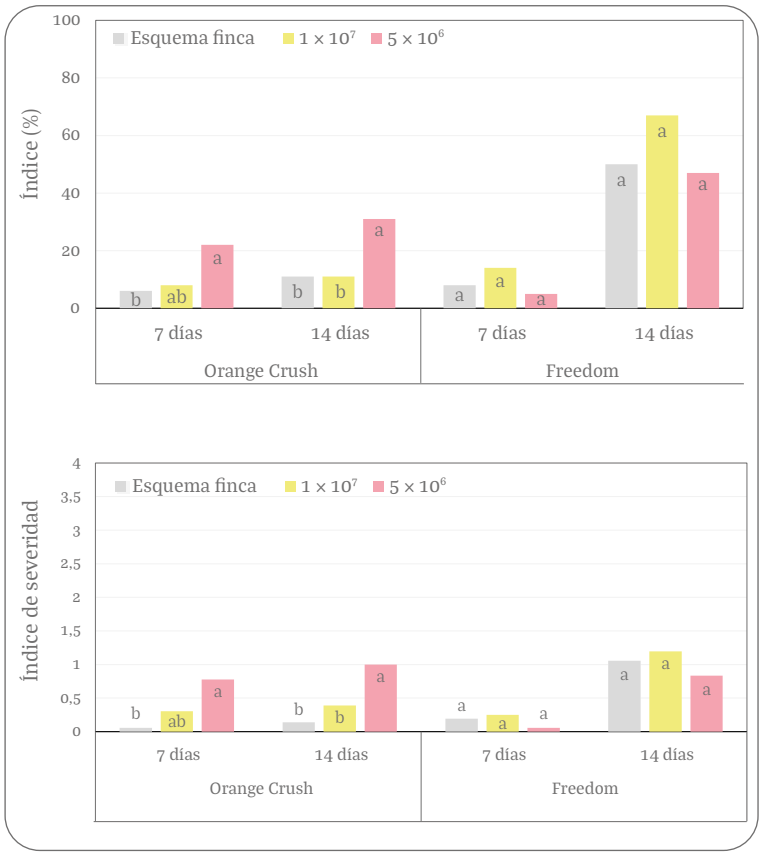


Figura 25. Incidencia e índice de severidad del moho gris en rosas de las variedades Orange Crush y Freedom bajo las aplicaciones de Nalev® en las dos concentraciones evaluadas después de siete y catorce días en florero para el ciclo evaluado de 2023.

Nota: Las letras indican diferencias significativas según la prueba de Fisher LSD ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En términos de incidencia y severidad del moho gris en las dos variedades de rosa evaluadas, el control obtenido con las distintas concentraciones evaluadas de Nalev® fue comparable al obtenido con la estrategia de manejo convencional de la finca, basada principalmente en la aplicación y rotación de fungicidas. Tanto el tratamiento con Nalev® como el manejo químico mostraron un comportamiento similar entre las diferentes temporadas de evaluación a pesar de las variaciones de temperatura y humedad que se registran en los invernaderos, las cuales pudieron haber influido en el aumento de la incidencia en una de las variedades debido a su mayor susceptibilidad.

Cabe destacar que estudios previos ya han demostrado la eficacia de Nalev® en el control del moho gris. Por ejemplo, en el cultivo de uchuva se demostró que las aplicaciones del bioplaguicida en campo, con una frecuencia de quince días, contribuyeron a reducir las infecciones quiescentes de *B. cinerea,* que se manifiestan durante la poscosecha de la fruta. En estas condiciones, se obtuvo una eficacia del 39 % en el control de la enfermedad cuando la fruta se almacenó a 20 °C con una humedad relativa ≥90 % durante siete días (Zapata-Narváez et al., 2023).

Consecuentemente, los resultados obtenidos respaldan la recomendación de incluir el bioplaguicida Nalev® como una alternativa dentro de esquemas de manejo del cultivo de rosas y frutales como uchuva o mora (Zapata & Cotes, 2013). Además, la cepa *R. mucilaginosa* Lv316 ha demostrado ser compatible con diferentes agroquímicos (Uribe-Gutiérrez et al., 2022), lo que permite su uso sin restricciones junto con otras estrategias de control de enfermedades o insectos plaga.

Conclusiones

Las aplicaciones de Nalev®, basado en *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316, demostraron ser comparables al manejo convencional realizado con fungicidas en el control de *Botrytis cinerea* en cultivos de rosas, ya que muestran resultados similares en términos de incidencia y severidad en las variedades Orange Crush y Freedom.

En las épocas de evaluación (años 2022 y 2023), el bioplaguicida mantuvo un comportamiento consistente frente al manejo del moho gris a pesar de las variaciones de temperatura y humedad que se presentan en los invernaderos, lo que respalda su eficacia en condiciones variables.

Nalev® representa una alternativa viable para reducir el uso de fungicidas químicos en esquemas de manejo, lo cual contribuye a minimizar la aparición de cepas resistentes de *B. cinerea y* promueve un manejo más sostenible en cultivos ornamentales.

En las evaluaciones de vida en florero, Nalev® mostró una incidencia y severidad del moho gris similar al manejo convencional.

Compatibilidad de *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 con plaguicidas

En el cultivo de rosas, al igual que en otros sistemas agrícolas, el uso de plaguicidas de síntesis química es una práctica recurrente. Esto se debe a que su eficacia en el control de plagas y enfermedades predomina sobre otros métodos como el control biológico, especialmente en situaciones donde se requiere una respuesta inmediata o de mayor espectro. Sin embargo, la interacción entre estos productos y los microorganismos benéficos puede influir en la viabilidad, la capacidad de colonización y la eficacia de los agentes de biocontrol en el entorno donde son aplicados (Uribe-Gutiérrez et al., 2022). Por ello, resulta fundamental evaluar el efecto de los plaguicidas sobre el crecimiento de estos microorganismos para determinar su compatibilidad dentro de estrategias de manejo integrado.

En la producción de rosas, además del moho gris (Muñoz et al., 2019), pueden presentarse otras enfermedades que limitan su productividad, tales como el mildeo polvoso (*Podosphaera pannosa*) (Torres et al., 2013), el mildeo velloso (*Peronospora sparsa*) (Ayala-Vásquez et al., 2008) o la roya del rosal (*Phragmidium mucronatum*) (Buriticá et al., 2014), así como insectos plaga, como trips (*Frankliniella occidentalis*) (Avellaneda et

al., 2021), áfidos (*Macrosiphum rosae*) (Simbaqueba & Serna, 2021) o ácaros (*Tetranychus urticae* y *Tetranychus cinnabarinus*) (Bonilla & Cardona, 2026). Dado que para su control se requiere del uso de plaguicidas, es importante evaluar su efecto en el crecimiento de *R. mucilaginosa* Lv316, principio activo de Nalev®, y determinar su compatibilidad, con el fin de integrarla de manera efectiva en estrategias de manejo integrado del cultivo.

Para ello, se seleccionaron 32 fungicidas, 15 insecticidas, 6 bactericidas y 7 coadyuvantes utilizados para el control de plagas y enfermedades en cultivos de rosa y en diferentes sistemas productivos (tabla 4). El efecto de estos agroquímicos sobre el crecimiento de *R. mucilaginosa* Lv316 se evaluó en caldo Sabouraud suplementado con cada compuesto en la dosis más alta recomendada. Los ensayos se llevaron a cabo en microplacas de 24 pozos (Corning™, USA) partiendo de una concentración inicial de 1×10^6 células. mL^{-1}. Como control, la levadura se cultivó sin adición de agroquímicos. Las microplacas fueron incubadas a 28 °C durante 24 horas en agitación continua utilizando un agitador orbital (figura 26).

Tras el periodo de incubación, se determinó la concentración celular de la levadura mediante recuento en cámara de Neubauer (número de células de levadura por mL).

Los ensayos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar. La unidad experimental (UE) correspondió a un pozo de la microplaca (Corning™, USA) y se efectuaron cuatro repeticiones para la evaluación del efecto de los agroquímicos sobre el crecimiento de la levadura. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y las medias se compararon mediante una prueba de Tukey con una confianza del 95% usando el *software* estadístico Statistix 10.0.

Tabla 4. Lista de insumos agrícolas utilizados en la prueba de compatibilidad con la levadura *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316

Categoría funcional	Principio activo	Dosis	Principio activo		Principio activo	Dosis
Fungicida	Pyrimethanil-iprodione	1 mL/L	Fluopyram- pyrimethanil	1 mL/L	Spiroxamina	0,6 g / L
	Fluazinam	1 mL/L	Spiroxamina-kresoxim methil	0,3 mL/L	Propiconazole	1,25 mL/L
	Azoxistrobina-difenoconazole	1,25 mL/L	Tiabendazol	0,9 mL/L	Ciazofamida	0,2 mL/L
	Azoxystrobin-tebuconazole	1,2 mL/L	Cimoxanilo-folpet-fosetil	3 g/L	Mandipropamid	1 mL/L
	Thiram-pyrimethanil	2 mL/L	Fluopicolide-propamocarb	2 mL/L	Metalaxil-M-mancozeb	3 g / L
	Propamocarb-fenamidona	2 mL/L	Kasugamicina	1,5 mL/L	Iminoctadine tris (albesilate)	0,75 mL/L
	Dimetomorf	0,8 g/L	Fluopyram-pyrimethanil	1 mL/L	Triadimenol-tebuconazole	1 mL/L
	Azoxystrobin-mancozeb	10 g/L	Spiroxamina-kresoxim methil	0,3 mL/L	Fludioxonil-ciprodinil	0,6 g / L
	Thiophanate-methyl	1,5 mL/L	Hexaconazole	1 mL/L	Dodine	1,6 mL/L
	Flutriafol	0,8 mL/L	Procloraz	1,2 mL /L	Himexazol	2 mL /L
	Fluopicolide-propamocarb	2 mL/L	Tebuconazole-trifloxystrobin	1 mL/L	Fenhexamid-tebuconazole	2 mL/L
	Kasugamicina	1,5 mL/L	Fosetil-propamocarb	2,5 mL/L	Pyraclostrobin-fluxapyroxad	7,5 mL/L
Insecticida	Fipronil	3 mL/L	Tiametoxam-lambdacihalotrina	1,25 mL/L	Malathion	1mL/L
	Chlorfenapyr	0,6 mL/L	Piriproxifen	0,6 mL/L	Spiromesifen	0,5 mL/L
	Sulfoxaflor	1 mL/L	Methomyl	0,75 g/L	Permetrina	0,6 mL/L
	β-Cyuthrin-imidacloprid	1 mL/L	Metoxifenocide	1 mL/L	Spinosad	0,5 mL/L
	Chlorantraniliprole	1,5 mL/L	Acefato	0,25 g/L	Dinotefuran	0,5 mL/L
Bactericidas-desinfectantes	Complejo de yodo	3 mL/L	Sulfato	1,2 g/L	Oxitetraciclina	1 g/L
	N-alquil bencil	2,5 mL/L	Ácido oxolínico	1,25 g/L	Cloruro	20 mL/L
Coadyuvantes	Agrotin	1 mL/L	Hipotensor	1 mL/L	Mexclater	2 mL/L
	Bioplant	1 mL/L	Carrier	1,5 mL/L	Fluyex	5 mL/L
	Redux	1 mL/L				

Fuente: Elaboración propia

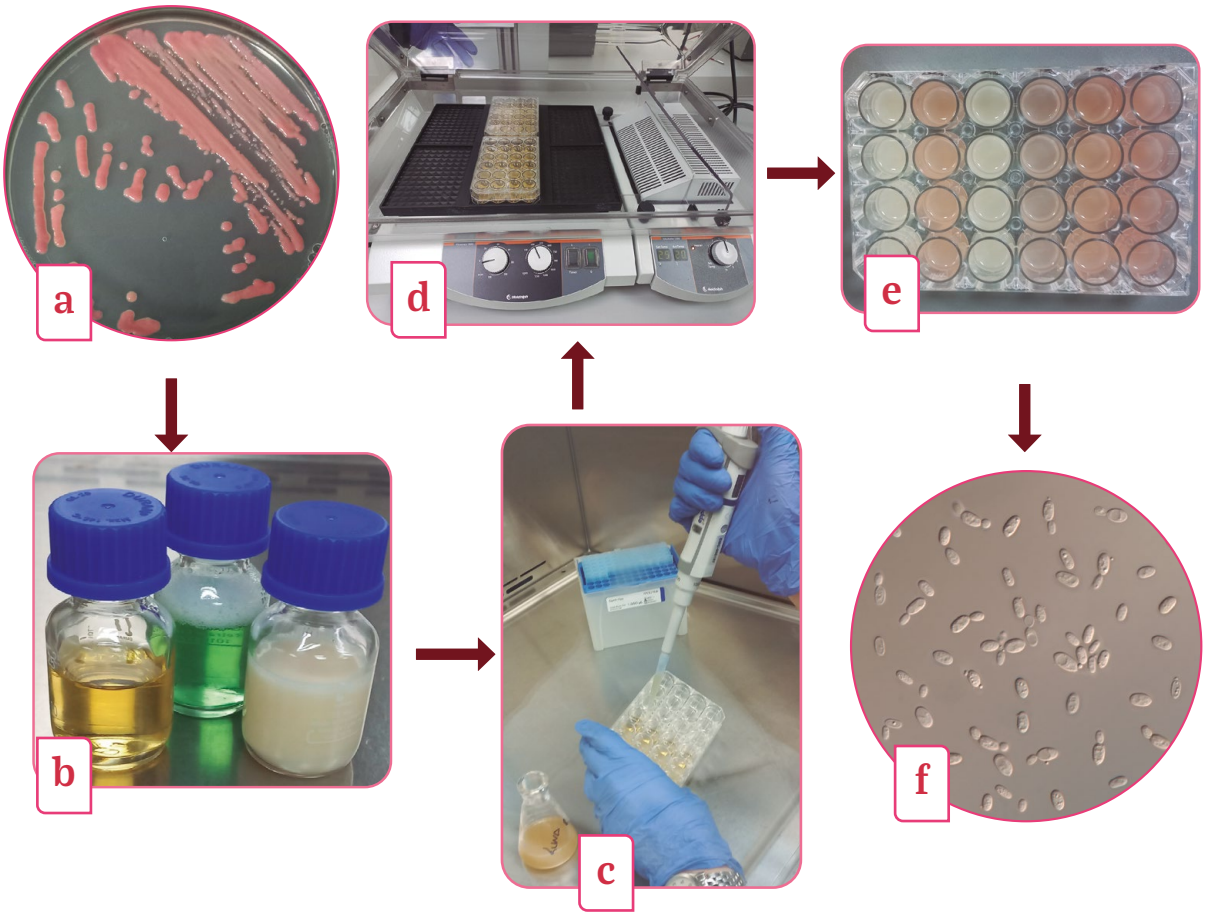


Figura 26. Esquema de evaluación del efecto de los agroquímicos sobre el crecimiento de *R. mucilaginosa* Lv316. a. Cultivo en agar extracto de malta de *R. mucilaginosa* Lv316; b. Preparación de agroquímicos en las concentraciones establecidas; c. Distribución de los agroquímicos y la levadura en las microplacas; d. Incubación en agitación constante de las microplacas; e. Placa después de 24 horas; f. Recuento celular en cámara de Neubauer.

Fuente: Blanca Lucía Botina Azaín

De acuerdo con la categoría funcional de los insumos agrícolas, los fungicidas evaluados mostraron diferencias significativas en su crecimiento ($p < 0{,}001$) evidenciadas mediante una prueba de comparación de medias. Los principios activos mandipropamid, dimetomorf, tiabendazol, procloraz, ciazofamida, fluazinam, fosetil-propamocarb, cimoxanilo-folpet y fluopicolide-propamocarb no afectaron el crecimiento de la levadura (valores entre $1{,}2 \times 10^8$ y $4{,}1 \times 10^8$ células/ mL) y alcanzaron concentraciones celulares similares a las obtenidas en el control ($3{,}6 \times 10^8$ células/ mL), lo cual contrasta con hexaconazole, propiconazole, dodine, spiraxomina, tebuconazole-trifloxystrobin y metalaxil-M-mancozeb, que inhibieron significativamente el crecimiento celular y redujeron la población a valores entre $4{,}7 \times 10^5$ y $4{,}5 \times 10^6$ células/mL, lo que evidencia un impacto negativo sobre la viabilidad celular (figuras 27 y 28).

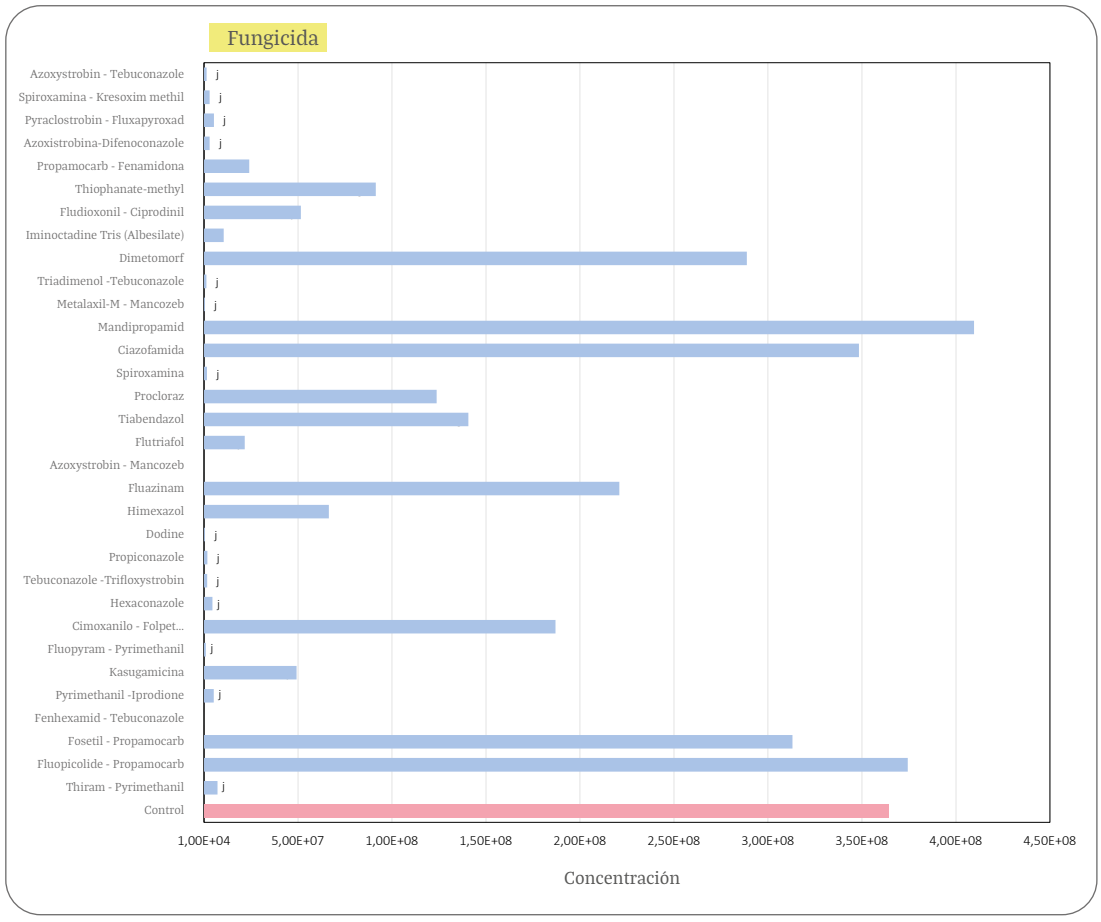


Figura 27. Efecto de fungicidas sobre el crecimiento de *R. mucilaginosa* Lv316.

Nota: Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

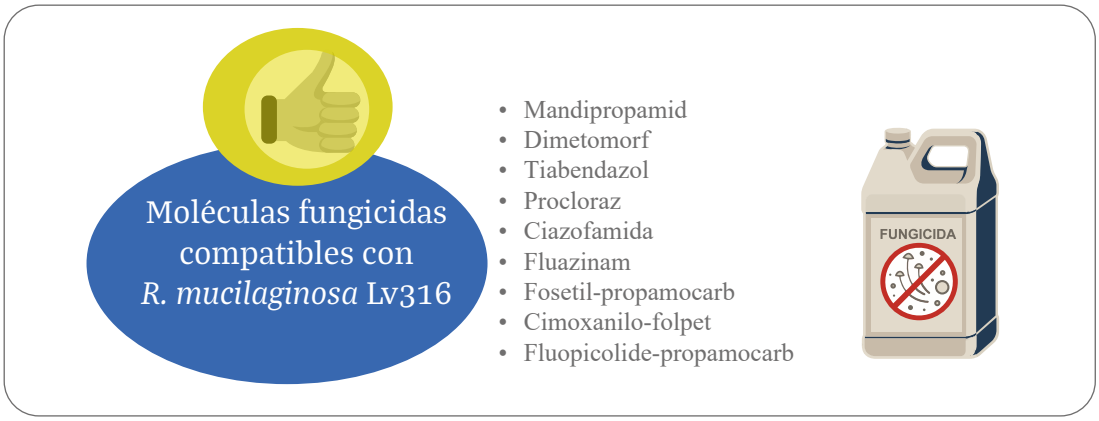


Figura 28. Fungicidas que podrían emplearse simultáneamente con Nalev® en estrategias de manejo integrado del cultivo.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los insecticidas, dinotefuran y malathion mostraron un efecto inhibitorio sobre el desarrollo de *R. mucilaginosa* Lv316, con concentraciones poblacionales de 2,8 × 10^7 y 6,8 × 10^7 células/mL respectivamente. En contraste, los demás insecticidas evaluados no presentaron un antagonismo directo y mantuvieron densidades celulares cercanas a 3,6 × 10^8 células/mL, un valor similar al tratamiento control (figuras 29 y 30). Si bien estos datos son prometedores, la estabilidad de la levadura en presencia de estos insecticidas debe ser validada en condiciones de estrés ambiental para determinar su viabilidad técnica en el cultivo.

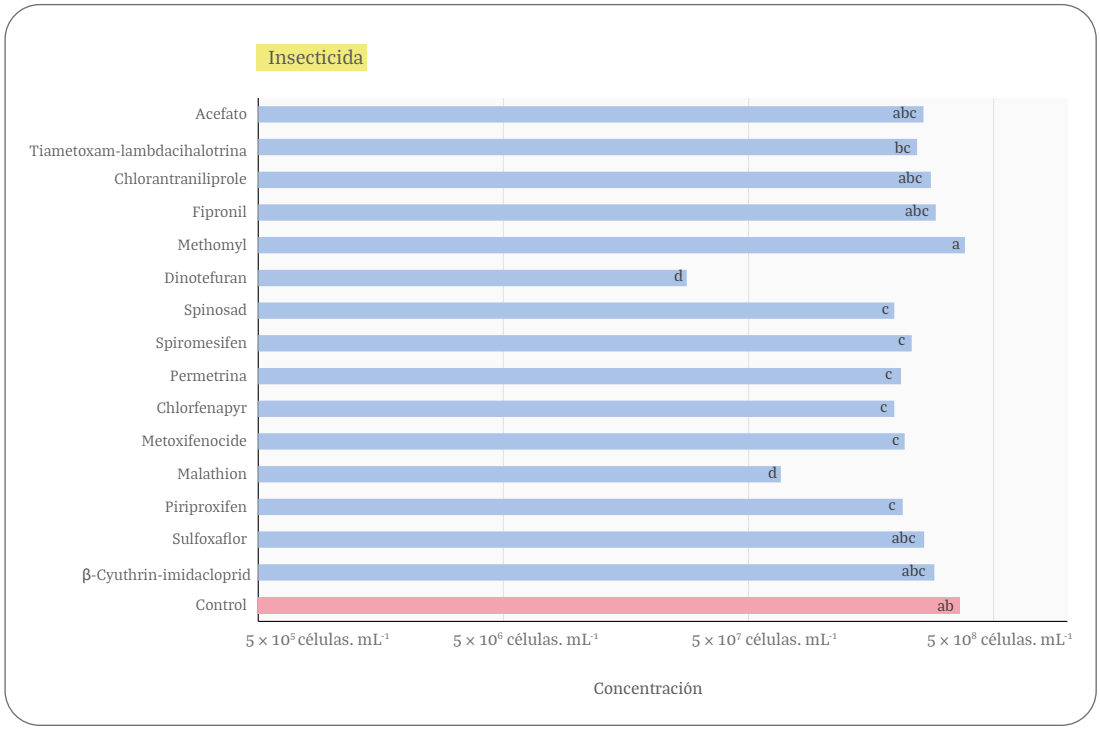


Figura 29. Efecto de insecticidas sobre el crecimiento de *R. mucilaginosa* Lv316.

Nota: Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Insecticidas que podrían emplearse simultáneamente con Nalev® en estrategias de manejo integrado del cultivo.

Fuente: Elaboración propia

Para los coadyuvantes, se observó que en presencia de Mexclater y Carrier la concentración celular obtenida después de la incubación fue mayor a la obtenida en el control ($3{,}6 \times 10^8$ células/mL), mientras que el resto presentó un comportamiento similar al control (figuras 31 y 32).

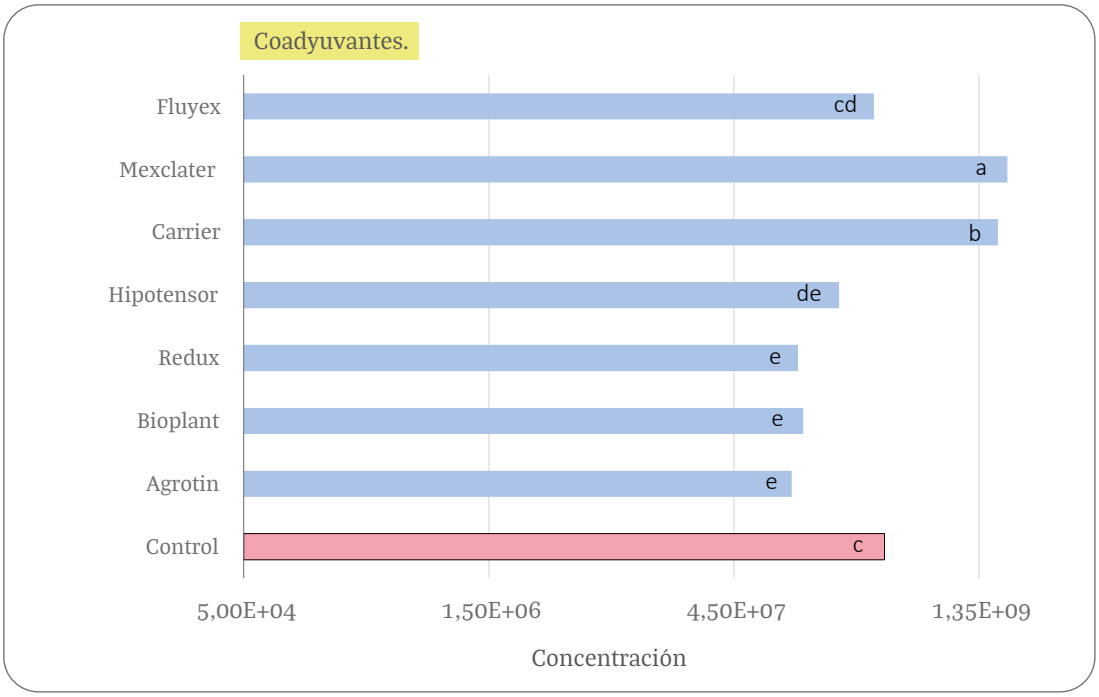


Figura 31. Efecto de coadyuvantes sobre el crecimiento de *R. mucilaginosa* Lv316.

Nota: Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Tukey ($p < 0{,}05$).

Fuente: Elaboración propia

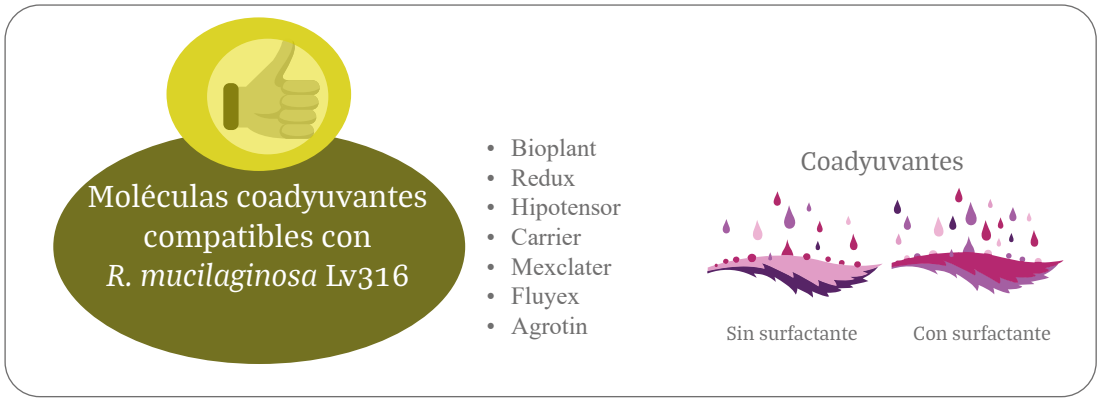


Figura 32. Coadyuvantes que podrían emplearse con Nalev®.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los bactericidas y desinfectantes, únicamente el ácido oxolínico y el complejo de yodo permitieron un desarrollo celular similar al control, con concentraciones entre 2,9 × 10^8 y 4,4 × 10^8 células/mL respectivamente. Por el contrario, el resto de los ingredientes activos evaluados exhibieron un efecto inhibitorio y se registraron poblaciones reducidas en un rango entre 5,4 × 10^5 y 5,6 × 10^6 células/mL (figuras 33 y 34).

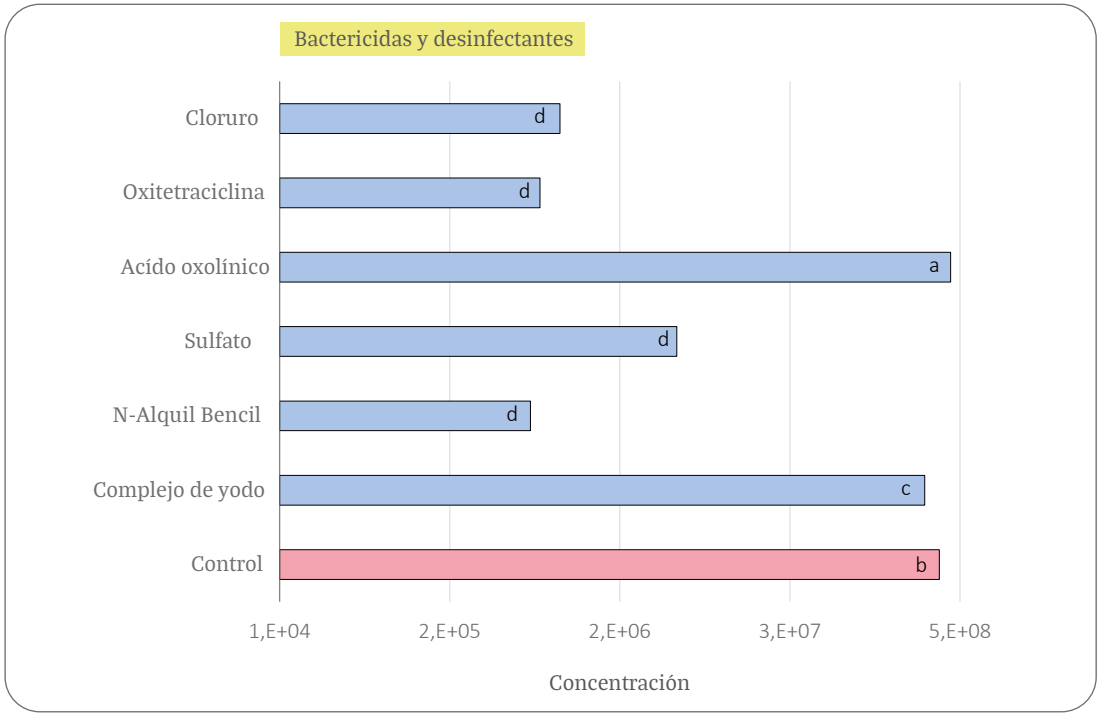


Figura 33. Efecto de bactericidas y desinfectantes sobre el crecimiento de *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316.

Nota: Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la compatibilidad *in vitro* de la cepa *R. mucilaginosa* Lv316 con diversos coadyuvantes, insecticidas, fungicidas y bactericidas establecen una base técnica sobre su tolerancia frente a ciertos ingredientes activos. No obstante, la respuesta de la levadura ante productos inhibitorios y su comportamiento bajo presión ambiental requieren estudios adicionales que validen el potencial del bioplaguicida Nalev® dentro de programas de manejo fitosanitario.



Figura 34. Bactericidas y desinfectantes que podrían emplearse simultáneamente con Nalev® en estrategias de manejo integrado del cultivo.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Rhodotorula mucilaginosa Lv316 exhibe una alta compatibilidad *in vitro* con la mayoría de los fungicidas evaluados, ya que mantiene concentraciones superiores a 1×10^7 células/mL. Este comportamiento se evidenció en presencia de fluopicolide-propamocarb, fosetil-propamocarb, kasugamicina, cimoxanil-folpet-fosetil, mandipropamid, himexazol, fluazinam, tiabendazol, procloraz, ciazofamida, dimetomorf, fludioxonil-ciprodinil, tiophanate-metil, flutriafol, iminoctadine tris (albesilate) y propamocarb-fenamidona, lo que confirma la tolerancia del microorganismo a estos ingredientes activos bajo condiciones controladas.

En contraste, los principios activos metalaxil-M-mancozeb, pirimetanil-iprodiona, fluopiram-pirimetanil, hexaconazol, tebuconazol-trifloxistrobin, propiconazol, dodina, espiroxamina, azoxistrobina-difenoconazol, piraclostrobina-fluxapiroxad, espiroxamina-kresoxim-metil y azoxistrobina-tebuconazol generaron inhibición moderada (rango de concentración entre el $4{,}9 \times 10^5$ y $5{,}2 \times 10^6$ células/mL). Este comportamiento evidencia una incompatibilidad parcial de la levadura frente a dichos componentes activos bajo las condiciones evaluadas. Por otra parte, en presencia de fenhexamid-tebuconazol, tiram-pirimetanil y azoxistrobina-mancozeb se inhibió completamente el crecimiento celular.

Todos los insecticidas evaluados mostraron compatibilidad *in vitro,* con concentraciones celulares superiores a $2{,}8 \times 10^7$ células/mL, mientras que en presencia de los coadyuvantes Agrotin y Bioplant la población superó las 1×10^8 células/mL; estos niveles

de concentraciones celulares sugieren la tolerancia del microrganismo a los ingredientes activos, lo cual facilita su integración en formulaciones para optimizar adherencia y penetración. Respecto a bactericidas y desinfectantes, los basados en N-alquil bencil, sulfato, oxitetraciclina y cloruro redujeron la densidad celular a rangos entre $5{,}4 \times 10^5$ y $5{,}6 \times 10^6$ células/mL. Por el contrario, la levadura con el ácido oxolínico y el complejo de yodo mantuvo valores de $2{,}9 \times 10^8$ células/mL, lo cual demuestra su compatibilidad con estos desinfectantes. Estos hallazgos constituyen el antecedente técnico inicial para considerar a la cepa Lv316 como un candidato viable en esquemas de protección de cultivos que integren el uso de agroquímicos compatibles.

Referencias

Aroca, G., & Zúñiga, M. E. (2011). Bioseparaciones. En F. Acevedo, J. C. Gentina, & A. Illanes (eds.), *Archivos de ingeniería bioquímica. Fundamentos de ingeniería bioquímica* (3.ª ed., pp. 245-282). Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Avellaneda, J., Díaz, M., Coy-Barrera, E., Rodríguez, D., & Osorio, C. (2021). Rose volatile compounds allow the design of new control strategies for the western flower thrips (Frankliniella occidentalis). *Journal of Pest Science, 94*(1), 129-142. https://doi.org/10.1007/s10340-019-01131-7?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle

Ayala-Vásquez, M., Argel-Roldan, L. E., Jaramillo-Villegas, S., & Marín-Montoya, M. (2008). Diversidad genética de *Peronospora sparsa* (Peronosporaceae) en cultivos de rosa de Colombia. *Acta Biológica Colombiana, 13*(1), 79-94. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2008000100005

Bonilla, S. J., & Cardona, L. F. (2026). Control y mitigación de ácaros en especies de flores ornamentales en Colombia. *Ciencia y Academia,* (7), 53-78. https://doi.org/10.21501/2744838X.4764

Borja-Aragón, J. L., Rodríguez-De la Garza, J. A., Ríos-González, L. J., Garza-García, Y., Rodríguez-Garza, M. M., y Martínez-Amador, S. Y. (2017). Domestic wastewater treatment using *Chlorella vulgaris* in an airlift bioreactor. *Mexican Journal of Biotechnology, 2*(2), 40-52. https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.2.40

Buriticá, P., Salazar, M., & Pardo-Cardona, V. M. (2014). Pucciniales (Fungi), Royas de Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín, 67(*1), 1-93. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179960331001

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2019). *Análisis fisicoquímico de bioplaguicidas sólidos.* AGROSAVIA.

Crowder, T. M., Rosati, J. A., Schroeter, J. D., Hickey, A. J., & Martonen, T. B. (2002). Fundamental effects of particle morphology on lung delivery: prediction of Stokes´ law and the particular revelance to dry powder inhaler formulation and development. *Pharmaceutical Research, 19*(3), 239-245. https://doi.org/10.1023/a:1014426530935

Díaz García, A., Gómez Álvarez, M. I., Cruz Barrera, F. M., & Castillo-Saldarriaga, C. R. (2014, 22-26 de septiembre). *Scale-up of production and formulation processes of biopesticide based on yeast Rhodotorula glutinis LvC07* [Sesión de conferencia]. XII International Science Conference. https://www.researchgate.net/publication/303313379_Scale-up_of_production_and_formulation_processes_of_biopesticide_based_on_yeast_Rhodotorula_glutinis_LvC07

Díaz, A., & Mejía, C. (2013). Producción masiva de *Rhodotorula glutinis* cepa LvC07. En Y. Zapata & A. M. Cotes (eds.), *Desarrollo de prototipos de bioplaguicida a base de Rhodotorula glutinis LvC07 para el control de Botrytis cinerea en cultivos de mora* (pp. 46-58). AGROSAVIA. http://hdl.handle.net/20.500.12324/13072

Golovina, E. A., Golovin, A. V., Hoekstra, F. A., & Faller, R. (2009). Water replacement hypothesis in atomic detail - Factors determining the structure of dehydrated bilayer stacks. *Biophysical Journal, 97*(2), 490-499. https://doi.org/10.1016/j.bpj.2009.05.007

Grasmeijer, N., Stankovic, M., de Waard, H., Frijlink, H. W., & Hinrichs, W. L. J. (2013). Unraveling protein stabilization mechanisms: vitrification and water replacement in a glass transition temperature controlled system. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics, 1834*(4), 763-769. https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2013.01.020

Karthikeyan, A., Joseph, A., Subramanian, R., & Nair, B. G. (2022). Fermenter Design. In P. Verma (Ed.), *Industrial Microbiology and Biotechnology* (pp. 129-167). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5214-1_5

Markl, D., & Zeitler, J. A. (2017). A review of disintegration mechanisms and measurement techniques. *Pharmaceutical Research, 34*(5), 890-917. https://doi.org/10.1007/s11095-017-2129-z

Muñoz, M., Faust, J. E., & Schnabel, G. (2019). Characterization of *Botrytis cinerea* from commercial cut flower roses. *Plant Disease, 103*(7), 1577-1583. https://doi.org/10.1094/PDIS-09-18-1623-RE

Norma Técnica Colombiana (NTC 326). (2015). *Abonos o fertilizantes. Método de ensayo de granulometría en seco*.

Ramírez Duque, J. L. R. (2017). Viabilidad en la producción de biomasa microalgal a partir de fotobioreactores solares en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 8*(2), 127-140. https://doi.org/10.22490/21456453.2039

Simbaqueba, R., & Serna, F. (2021). Áfidos (Hemiptera: Aphididae) de Colombia, con nuevos registros para el norte de Sudamérica. *Caldasia, 43*(1), 1-27. https://doi.org/10.15446/caldasia.v43n1.77979

Torres, S. P., Velandia, J., & Murcia, H. (2013). Aplicación alternada de ácido acetilsalicílico con fungicidas en el control de mildeo polvoso en rosa. *Ciencia y Agricultura, 10*(2), 45-51. https://www.redalyc.org/pdf/5600/560058657007.pdf

Tortora, G., Funke, B., & Case, C. (2007). *Introducción a la microbiología*. Editorial Médica Panamericana.

Uribe-Gutiérrez, L., Moreno-Velandia, C. A., & Villamizar, L. F. (2022). Compatibility of a biopesticide based on the yeast *Rhodotorula mucilaginosa* (Lv316) with chemical fungicides used in blackberry crops. *BioControl, 67*, 89-100. https://doi.org/10.1007/s10526-021-10119-1

Zapata, J., & Cotes, A. M. (2013). Eficacia de dos prototipos de bioplaguicida a base de *Rhodotorula glutinis* cepa LvC07 y un bioplaguicida a base de *Trichoderma koningiopsis* cepa Th003 en el control de *B. cinerea* en cultivos de mora. En *Desarrollo de prototipos de bioplaguicida a base de Rhodotorula glutinis LvC07 para el control de Botrytis cinerea en cultivos de mora* (pp. 73-79). Corpoica. http://hdl.handle.net/20.500.12324/13072

Zapata-Narváez, Y. A., Díaz-García, A., & Beltrán-Acosta, C. R. (2023). Alternatives for the gray mold (*Botrytis cinerea*) control in cape gooseberry (*Physalis peruviana*) crop. *Mexican Journal of Phytopathology, 41*(3), 372-390. https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2302-5





Capítulo V.
Innovación en el control del moho gris en rosas: membrana difusora de aceite esencial para la conservación de rosas en poscosecha

Tras ser cortadas, las rosas continúan enfrentando el riesgo de desarrollar moho gris (*Botrytis cinerea)*, que puede originarse desde el campo y manifestarse durante la poscosecha. Este hongo puede permanecer latente en las flores por largos períodos y se activa cuando encuentra condiciones ideales de humedad y temperatura. Para abordar este desafío, el programa Bioflorhass ha desarrollado una solución innovadora: membranas difusoras de aceites esenciales (AE). Estas membranas obtenidas mediante el método de electrohilado pueden liberar compuestos naturales con propiedades antifúngicas que protegen las flores durante el almacenamiento y el transporte (Gundewadi et al., 2021; Manfredini et al., 2017). Este enfoque no solo prolonga la vida útil de las rosas, sino que busca reducir el uso de químicos sintéticos y ofrecer una alternativa más sostenible para la floricultura.

¿Qué hicimos?

Para evaluar la eficacia de la membrana difusora de aceites esenciales, se llevaron a cabo ensayos con tres variedades comerciales de rosas: Moody Blues (MB), Orange Crush (OC) y Freedom (F) (figura 35). El objetivo principal fue determinar si la implementación de la membrana durante el embalaje de los ramos contribuye a reducir la incidencia de moho gris. Para ello, se compararon rosas embaladas y tratadas con la membrana frente a un grupo de control sin tratamiento. Las flores fueron almacenadas en frío (4 °C) durante 5 días, transportadas al laboratorio y evaluadas en florero durante 7 a 11 días según la variedad, replicando condiciones reales de la cadena de exportación. Adicionalmente, se evaluaron dos temperaturas de almacenamiento (6 y 25 °C) para analizar la estabilidad de la membrana a lo largo del tiempo (0, 6 y 12 meses). De manera simultánea, se examinó el efecto fitotóxico de la membrana y se consideraron posibles impactos en la calidad de la flor mediante el análisis de parámetros clave en la industria como la turgencia, el despetale, el deshoje, la colorimetría y la apertura floral.



Moody Blues
MB

Freedom
F

Orange Crush
OC

Figura 35. Ramos de rosas de las variedades Moody Blues (MB), Freedom (F) y Orange Crush (OC) utilizadas en los ensayos.

Fuente: Jinneth Lorena Castro Mayorga

¿Cómo lo hicimos?

Paso 1. Elaboración de la membrana

Utilizamos la técnica de electrohilado (*electrospinning*) para fabricar las membranas empleando un polímero biodegradable disuelto en una mezcla de solventes orgánicos y aceite esencial de citronela, seleccionado por su alta eficacia en un estudio previo (figura 36) (Cabrera et al., 2026). El resultado de este proceso es una membrana de fibras micrométricas en las que el aceite esencial queda inmovilizado sobre un soporte sólido, lo cual permite su liberación progresiva para prevenir y controlar el crecimiento de hongos durante la poscosecha de las rosas (Cabrera et al., 2026).

Paso 2. Montaje experimental para la evaluación de la eficiencia de la membrana

En la etapa de poscosecha, se ubicaron las membranas al interior de los ramos o en la tapa interna de las cajas de embalaje según el diseño experimental (figura 37). Las flores fueron hidratadas y almacenadas posteriormente en cuarto frío (4 °C) durante 5 días antes de ser transportadas al laboratorio para su evaluación. La incidencia y severidad del moho se monitorearon utilizando la escala de severidad descrita en el capítulo "Avances en la validación del uso de un prototipo a base de *Rhodotorula mucilaginosa* Lv316 (Nalev®)".

Para los ensayos a nivel de ramo, estos se conservaron a temperatura ambiente (~20 °C) dentro de su embalaje durante 2 días. Posteriormente, fueron desembalados y colocados en floreros para el ensayo de vida en florero. La evaluación se llevó a cabo tras 7 días en florero.

En los ensayos a nivel de caja, tras el período de almacenamiento en frío, las flores fueron desembaladas y colocadas en floreros para su evaluación. La vida en florero se monitoreó a los 11 días para la variedad F y a los 9 días para la variedad OC.

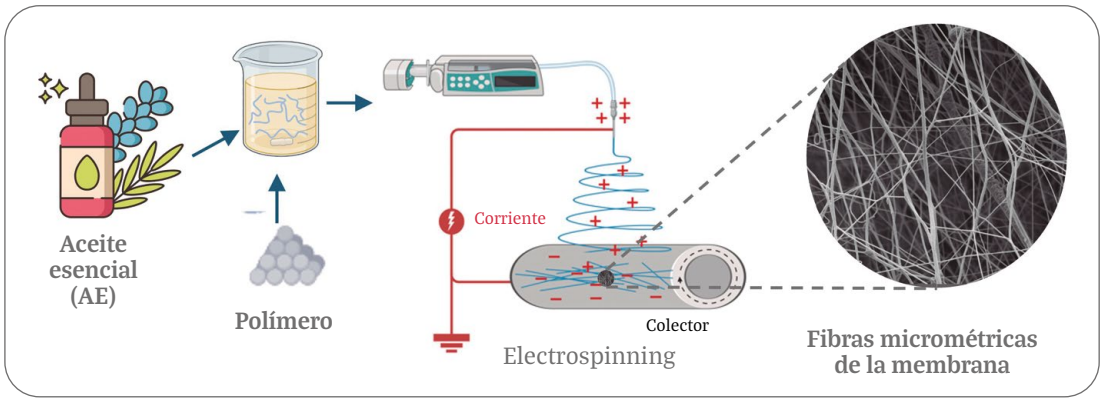


Figura 36. Proceso de fabricación de membrana con aceite esencial mediante *electrospinning*, combinando el polímero y el aceite para obtener fibras micrométricas.



Figura 37. Ubicación de la membrana. a. Dentro del armado de los ramos (ensayos a nivel de ramo); b. Dentro de la caja de embalaje que contiene los ramos (ensayos a nivel de embalaje).

Fuente: Laura Valentina Merchán Carrizosa

Para analizar el impacto del tratamiento con membranas difusoras de aceites esenciales en la calidad de las rosas, se evaluaron los siguientes parámetros (tabla 5).

Colorimetría. Se calculó el delta E (ecuación 3) para identificar cambios en la coloración de los pétalos durante la vida en florero y detectar posibles síntomas de intoxicación. La medición se realizó con un colorímetro (Konica Minolta) en tres puntos aleatorios del botón floral y se seleccionaron pétalos internos. Se registraron y promediaron los valores del espacio de color L*a*b.

$$Delta\ E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2} \qquad \text{Ecuación 3}$$

Turgencia: Se determinó según la firmeza del tallo y el botón floral, siguiendo los estándares industriales. Se asignó un valor de 1 a los tallos con síntomas de deshidratación y 0 a aquellos sin alteraciones.

Deshoje y despetale. Se registró la caída masiva de hojas y pétalos al manipular el tallo. Los casos con pérdida significativa se marcaron con 1, mientras que aquellos sin desprendimiento anormal se marcaron con 0. Luego se contó el número de tallos por ramo que presentaron deshoje y despetale y, por último, se calculó el porcentaje de tallos afectados.

Apertura floral. Se midió el diámetro de apertura en dos puntos ecuatoriales del botón floral. Los valores obtenidos se promediaron para determinar la apertura en centímetros por tallo.



Tabla 5. Evaluación de parámetros de calidad en rosas

Turgencia	Deshoje
	
Apertura	**Despetale**
	

Fuente: Laura Valentina Merchán Carrizosa

Paso 3. Estudios de estabilidad del componente activo de la membrana

Estudio de pérdida de peso a temperatura ambiente. Se analizó la pérdida de peso de la membrana a ~20 °C durante 35 días utilizando una balanza analítica. Este ensayo permite dilucidar la cinética de liberación del AE en condiciones en las que la membrana se encuentra fuera de su empaque o cuando, dentro de la cadena logística, los ramos o cajas de flores quedan expuestos a una temperatura ambiente de ~20 °C.

Almacenamiento en refrigeración. Se evaluó el contenido de AE en la membrana almacenada en bolsas tipo *doypack* de PET metalizado selladas a vacío (figura 38). Para ello, se realizó un análisis termogravimétrico (TGA), con mediciones en los meses 0, 6 y 12.

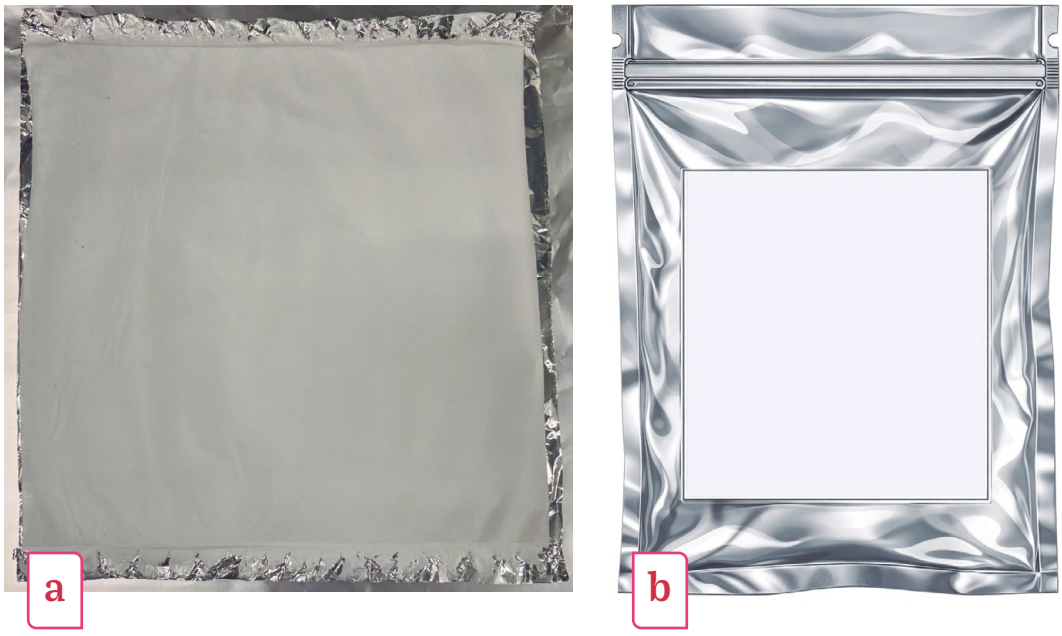


Figura 38. Almacenamiento en refrigeración. a. Membrana hilada por electrohilado (21 × 21 cm); b. Empaque en bolsa tipo *doypack* de PET metalizado (al vacío) utilizado para el almacenamiento.

Fuente: Jinneth Lorena Castro Mayorga y Laura Valentina Merchán Carrizosa

Paso 4. Análisis estadístico

Se analizó la severidad y la incidencia mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey ($\alpha = 0{,}05$) o Kruskal-Wallis si no se cumplían los supuestos de normalidad y homogeneidad. Los parámetros de calidad se compararon con la prueba t de Student. Los análisis se realizaron en R 3.3.3 usando RStudio.

El diseño experimental varió según el nivel de evaluación. En los ensayos a nivel de ramo, la unidad experimental estuvo constituida por un ramo de rosas, con tres repeticiones por tratamiento. En el primer ensayo, cada unidad experimental comprendió un ramo con

24 rosas, para un total de 144 rosas evaluadas. En el segundo y tercer ensayo, cada unidad experimental comprendió un ramo conformado por 12 rosas, con un total de 72 rosas por ensayo. En los ensayos a nivel de caja, la unidad experimental correspondió a una caja conformada por seis ramos de 12 rosas cada uno, con tres repeticiones por tratamiento y un total de 432 rosas por ensayo. En todos los casos se evaluaron dos tratamientos: con membrana y control.

¿Qué obtuvimos?

Evaluación de la eficacia de la membrana

Los ensayos realizados a nivel de ramo demostraron que la incorporación de seis membranas de 7 × 10 cm, colocadas en cada uno de los separadores de un ramo compuesto por 24 rosas, provocó quemaduras en los pétalos y un aumento en la incidencia y severidad del moho gris. Este efecto fue más marcado en las flores ubicadas en la parte inferior del ramo (posición B), en comparación con aquellas situadas en la parte superior (posición A) (figura 39). En particular, se observaron diferencias significativas en la incidencia entre el tratamiento con membrana en posición superior y el tratamiento con membrana en posición inferior (p = 0,0429), así como entre el tratamiento con membrana en posición inferior y el control en posición inferior (p = 0,0408). En cuanto a la severidad, los tratamientos aplicados en la posición inferior fueron eficaces en el control de la enfermedad, sin diferencias significativas entre ellos. En contraste, los tratamientos ubicados en la posición superior se clasificaron como ineficaz (I) y altamente ineficaz (HI) para el control de *B. cinerea* en los tratamientos control y con membrana respectivamente.



Figura 39. Quemadura en las rosas expuestas a las seis membranas (7 × 10 cm) ubicadas en los separadores de las camas del ramo.

Fuente: Laura Valentina Merchán Carrizosa

En contraste, el uso de solo dos membranas (7 × 10 cm) ubicadas en los separadores externos del ramo no causó daños visibles en las flores, aunque tampoco se observó un efecto significativo en la reducción de la incidencia (reducción del 8 al 5 %). Sin embargo, el índice de severidad registrado para este tratamiento fue del 0,08 en rosas de la variedad F. En la variedad OC, la membrana tuvo un efecto negativo, tanto en la incidencia (p = 0,005) como en el grado de severidad, con un índice de 0,88 (figura 40).

Ensayos a nivel de ramo

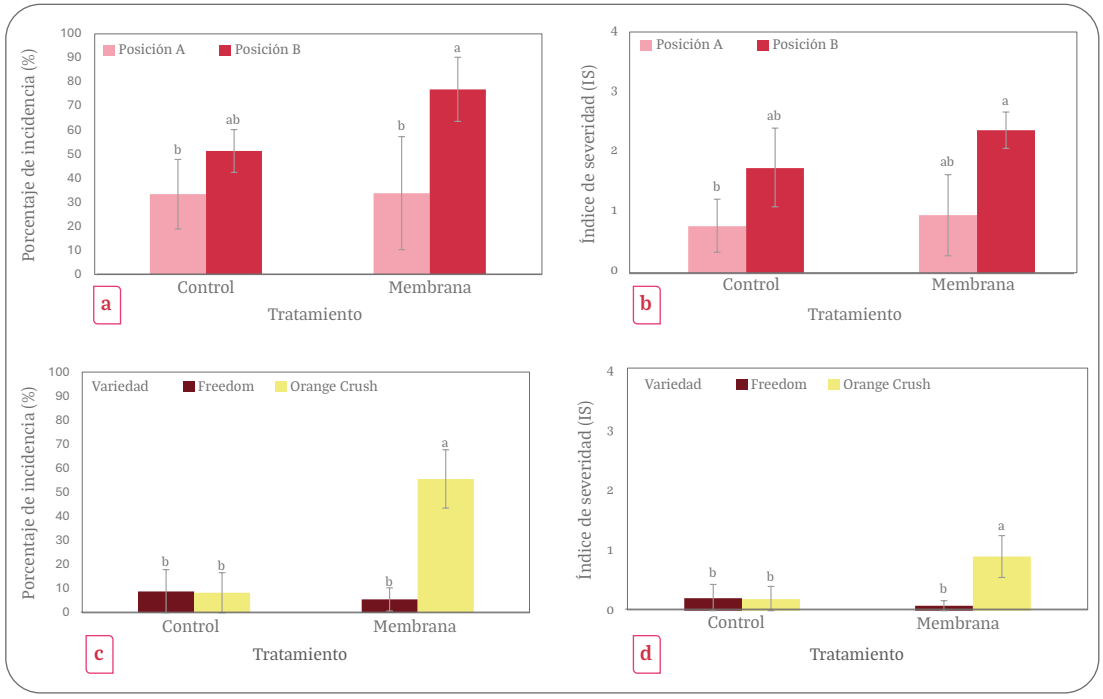


Figura 40. Porcentaje de incidencia e índice de severidad en ramos de rosas de las variedades MB (a y b), OC y F (c y d) sin membrana (control) (C) y con membrana (M).

Tratamiento: 2 membranas (7 × 10 cm) ubicadas en los separadores de las camas del ramo.

Fuente: Elaboración propia

Ensayos a nivel de caja

En los ensayos de caja con las variedades F y OC, los tratamientos con membrana lograron reducir la severidad de la enfermedad, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. En particular, en la variedad F, la incidencia disminuyó significativamente del 15 al 3 %, mientras que el índice de severidad se redujo de 0,208 a 0,044, aunque este cambio no fue significativo en términos estadísticos (figura 41). En la variedad OC, se evidenció una disminución en ambos parámetros; sin embargo, esta reducción no fue estadísticamente significativa. Puntualmente, la incidencia pasó del 21 al 8 % y el índice de severidad se redujo de 0,212 a 0,072.

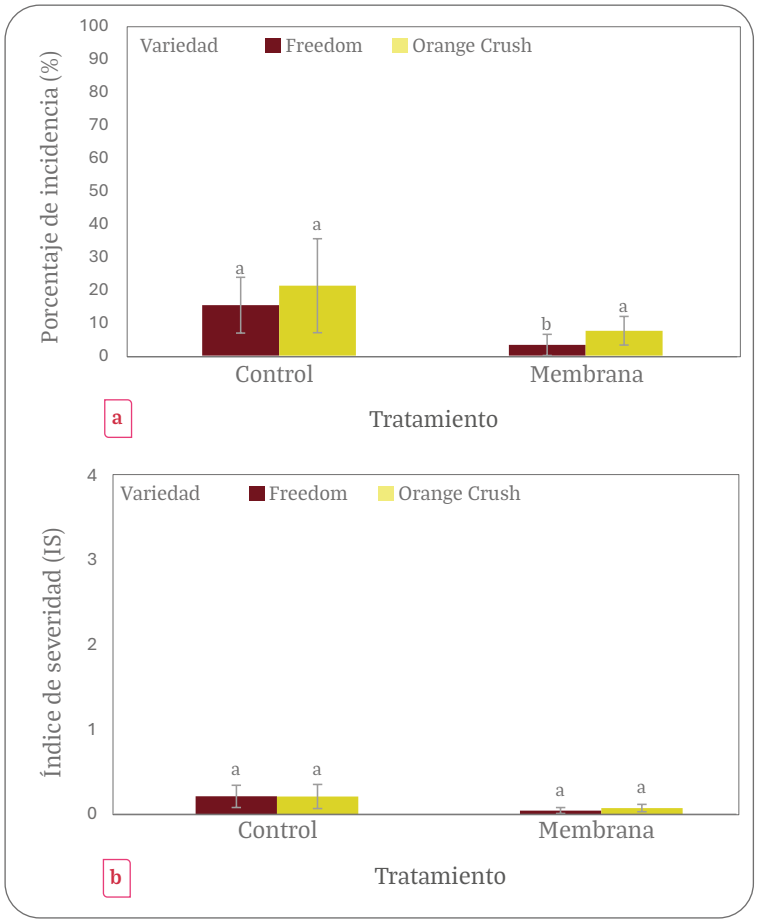


Figura 41. Porcentaje de incidencia e índice de severidad en la caja de rosas de la variedad F y OC con (M) y sin membrana (control) (C). a. Porcentaje de incidencia; b. Índice de severidad.

Tratamiento: 2 membranas (21 × 21 cm) ubicadas en la tapa interna de la caja.

Fuente: Elaboración propia

Parámetros de calidad

Ensayos a nivel de ramo

Las flores de la variedad MB tratadas con la membrana mostraron menos signos de deshidratación en comparación con el control, lo que indica la ausencia de efectos tóxicos. No se observaron diferencias significativas en deshoje y despetale entre los tratamientos (p = 0,72 y 0,74) (tabla 6). Sin embargo, los tallos más cercanos a la membrana presentaron una mayor apertura floral (p = 0,008), promovida posiblemente por el aumento de etileno (Asociación Colombiana de Exportadores de Flores [Asocolflores], 2010). En cuanto a la colorimetría, se evidenció quemazón en los pétalos de los tallos más próximos a la membrana.

Tabla 6. Resultados de los parámetros de calidad en ramo

Tratamiento	Turgencia	Deshoje	Despetale	Ganancia de apertura promedio (cm)
2 membranas (7 × 10 cm)	1^a	$2,0^a$	1^a	$2,53^a$
Control	5^b	$1,5^a$	$4,5^a$	$2,19^b$

Fuente: Elaboración propia

Ensayos a nivel de caja

En la variedad OC, a nivel de caja, los tallos tratados con la membrana presentaron la menor incidencia de despetale y deshoje, con diferencias significativas respecto al control (p = 0,03 y p = 0,008 respectivamente) (tabla 7), lo que sugiere un posible efecto positivo de la membrana en estos parámetros, a diferencia de los resultados obtenidos en la evaluación en ramo. En cuanto a turgencia, apertura y colorimetría, no se observaron diferencias significativas entre los tallos tratados y el control (p >0,05) en las variedades OC y F, lo que indica que estos aspectos no se ven afectados por la membrana, en contraste con los resultados obtenidos en ramo.

Tabla 7. Resultados de ensayos a nivel de caja de acuerdo con parámetros de calidad

	Freedom		Orange Crush	
	Membrana	Control	Membrana	Control
Turgencia	6,9[a]	5,1[a]	11[a]	11,2[a]
Despetale	0,1[a]	0[a]	0,1[a]	0,4[b]
Deshoje	NA	NA	1,7a	5,3[b]
Ganancia de apertura (cm)	3,7[a]	3,9[a]	3[a]	9,8[a]
Colorimetría (delta E)	5,11[a]	4,87[a]	14,73[a]	10,93[a]

Fuente: Elaboración propia

Estudios de estabilidad del componente activo de la membrana

Estudio de pérdida de peso a temperatura ambiente (~20 °C)

El análisis de pérdida de peso a ~20 °C durante 35 días evidenció una reducción del 49 % que puede ser atribuida principalmente a la volatilización del AE (figura 42). Estos resultados sugieren que la exposición prolongada de la membrana a esta temperatura acelera la liberación del componente activo, lo que podría afectar su estabilidad y desempeño. Por un lado, la pérdida prematura del aceite esencial podría comprometer su actividad biológica y reducir su eficacia. Por otro lado, una liberación descontrolada podría generar efectos fitotóxicos sobre las flores, especialmente ante interrupciones en la cadena de frío durante el transporte o el almacenamiento. Estos hallazgos subrayan la importancia de realizar estudios adicionales para validar el efecto de la membrana en condiciones que simulen escenarios reales de manejo y distribución.

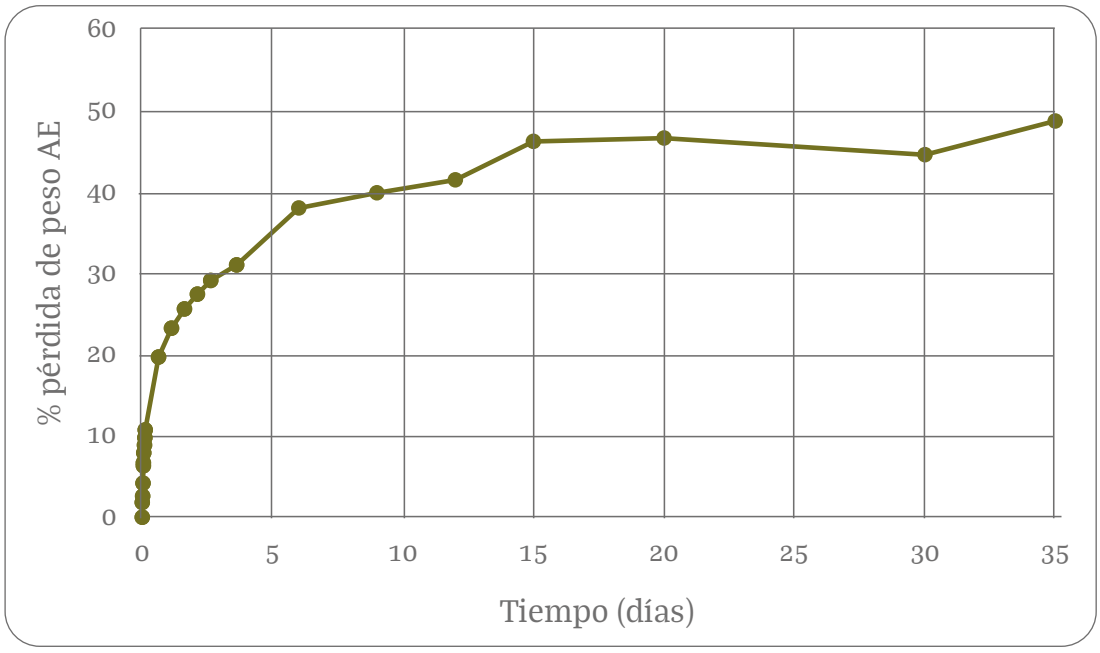


Figura 42. Pérdida de peso de la membrana almacenada a temperatura ambiente (aprox. 20 °C).
Fuente: Elaboración propia

Almacenamiento en refrigeración

El análisis termogravimétrico (TGA) de la membrana almacenada a 6 °C durante 0, 6 y 12 meses mostró una pérdida progresiva de AE que alcanzó hasta un 32,4 % a los 12 meses (tabla 8). Sin embargo, en los primeros seis meses la reducción fue solo del 10,8 %, lo que indica que el empaque evaluado contribuye eficazmente a preservar sus propiedades en este periodo y evita una degradación acelerada del AE. Por tanto, para mantener la estabilidad y funcionalidad de la membrana, se recomienda su almacenamiento en bolsas tipo *doypack* de PET metalizado, selladas al vacío y mantenidas a 6 °C, con una vida útil de hasta seis meses. No obstante, incluso dentro de este periodo, es necesario verificar su actividad biológica tras el almacenamiento para asegurar que la reducción del AE no afecte su eficacia en la aplicación.

Tabla 8. Resultados del análisis termogravimétrico (TGA) de la membrana difusora almacenada durante 12 meses a 6 °C

Mes	% AE
0	100
6	89,2
12	67,6

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Eficacia variable según aplicación y variedad. La efectividad de la membrana depende de la forma de aplicación y la variedad de rosa. En ramos, su uso generó síntomas de toxicidad visibles en los pétalos, particularmente en rosas de las variedades Moody Blues y Orange Crush, y favoreció el desarrollo de moho gris, mientras que en cajas de cartón tipo "tabaco" mostró mayor viabilidad para la comercialización y exportación de rosas de la variedad Freedom, donde se presentó una reducción de la incidencia del 15 al 3 % y de la severidad de 0,208 a 0,044.

Impacto en la calidad de las flores. No se observaron síntomas de intoxicación visibles, tales como despetale, deshoje y turgencia. Sin embargo, en ramos de la variedad Moody Blues, la membrana afectó la colorimetría y causó cambios en la coloración en los pétalos, mientras que en cajas estos efectos fueron menores. Además, promovió la apertura floral.

Liberación del componente activo a temperatura ambiente. La exposición de la membrana a 20 °C acelera el proceso de liberación del aceite esencial, lo que podría comprometer su eficacia y, en caso de interrupciones de la cadena de frío, podría aumentar el riesgo de efectos fitotóxicos. Estos resultados, junto con los del TGA, sugieren que el almacenamiento con la membrana es más adecuado en condiciones de refrigeración para preservar su eficacia y seguridad.

Importancia del almacenamiento. Para mantener la estabilidad y funcionalidad de la membrana, se recomienda su almacenamiento en empaque en bolsas tipo *doypack* de PET metalizado, selladas al vacío y conservadas a 6 °C, con una vida útil de hasta seis meses. Sin embargo, pese a que la pérdida de AE en este periodo es solo del 10,8 %, es necesario verificar su actividad biológica tras el almacenamiento para garantizar su efectividad.

Referencias

Asociación Colombiana de Exportadores de Flores [Asocolflores]. (2010). *Manual de buenas prácticas de poscosecha para flor de corte y follajes asociados* (2.ª ed.) https://academia.ceniflores.org/CentroDocumental/manual-de-buenas-practicas-de-poscosecha-para-flor-de-corte-y-follajes-asociados/

Cabrera, L., García, J., Carazzone, C., Merchán, L., & Castro-Mayorga, J. (2026). Phytotoxicity and antifungal activity of volatile compounds from essential oils in cut roses. *Heliyon, 12*(1), e44435. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e44435

Gundewadi, G., Rudra, S. G., Gogoi, R., Banerjee, T., Singh, S. K., Dhakate, S., & Gupta, A. (2021). Electrospun essential oil encapsulated nanofibers for the management of anthracnose disease in Sapota. *Industrial Crops and Products, 170*, 113727. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113727

Manfredini, G. M., de Oliveira Paiva, P. D., Almeida, E. F. A., do Nascimento, Â. M. P., Sales, T. S., & Santos, L. O. (2017). Postharvest quality of essential oil treated roses. *Ornamental Horticulture, 23*(2), 192-199. https://doi.org/10.14295/oh.v23i2.993



Terminó de imprimirse en los talleres de
DGP Editores SAS en julio de 2026,
en Bogotá D. C., Colombia

¿Cómo se construyen las soluciones biotecnológicas que impulsan una floricultura más sostenible? Este libro presenta el desarrollo y la validación de Nalev®, un bioproducto para el control biológico del moho gris en rosas, junto con una innovadora tecnología basada en una membrana difusora con aceite esencial para la conservación poscosecha. Muestra cómo una idea científica puede transformarse en una solución tecnológica con aplicación práctica, mediante procesos de desarrollo, escalamiento, validación y transferencia. Una publicación de interés para investigadores, estudiantes, extensionistas, productores y profesionales del sector floricultor, que invita a comprender el papel de la biotecnología en la construcción de sistemas agrícolas más competitivos, sostenibles e innovadores. **¡Te invitamos a descubrirla!**

BAC
BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

correo: bac@agrosavia.co
teléfono: (+57) 601 914 4677

Distribución gratuita
Prohibida su venta

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Centro de Investigación Tibaitatá.
Km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca.
Código postal 250047, Colombia.

Línea de atención al cliente: (+57) 601 914 4677
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co