



Avances de investigación en nutrición, manejo y control de enfermedades en el cultivo de uchuva



Avances de investigación en nutrición, manejo y control de enfermedades en el cultivo de uchuva

María Margarita Ramírez Gómez
Diana Paola Serralde Ordóñez
Víctor Manuel Núñez Zarantes
Érika Patricia Martínez Lemus
Carolina González Almario
Andrea María Peñaranda Rolón
Yimmy Alexander Zapata Narváez
Francy Liliana García Arias
David Rodríguez Puertas
Edwin Alirio Rodríguez Velásquez
Andrés Díaz García
Franklin Giovanni Mayorga Cubillos
Emerson Duván Rojas Zambrano
Víctor Camilo Pulido Blanco
Camilo Rubén Beltrán Acosta
Érika Patricia Sánchez Betancourt
Fabián Enrique Martínez Camelo
Johan David Barbosa
Wilmar Alexander Wilches Ortiz
Juan Clímaco Hio
Diana Marcela Burbano David
Alejandro Caro Quintero
Camilo Ernesto Sanabria Torres
Andrés Alarcón Ramírez
Julio Martín Duarte Carvajalino

Mosquera, Colombia, 2023
Colección Alianzas Agrosavia

Avances de investigación en nutrición, manejo y control de enfermedades en el cultivo de uchuva. / María Margarita Ramírez Gómez [y otros veinticuatro]. -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2023.

178 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)
Incluye referencias bibliográficas, gráficos y fotografías.
ISBN: 978-958-740-696-2
ISBN e-Book: 978-958-740-697-9

1. Uchuva 2. *Physalis peruviana* 3. Frutales 4. Nutrición de las plantas 5. Cultivo 6. Producción 7. Gestión integrada de la uchuva.

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, km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es el resultado del trabajo realizado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, en el marco del proyecto “Desarrollo, transferencia de tecnología y conocimiento para la innovación que reduzca la baja competitividad de uchuva derivada de la emergencia por el Covid-19, mediante la disminución del marchitamiento vascular en Ubaté y Granada, Cundinamarca (ID: 1001611)”, 2049-BPIN 2020000100700.

Colección Alianzas Agrosavia
Tipología: Libro de análisis y reflexiones en torno al sector agropecuario
Fecha de recepción: 13 de septiembre de 2023
Fecha de evaluación: 22 de septiembre de 2023
Fecha de aceptación: 24 de octubre de 2023
Primera edición: diciembre 2023
Printed in Bogotá, Colombia
editorial@agrosavia.co

Edición: Jorge Enrique Beltrán Vargas

Diseño y diagramación: Gabriel David Roveda

Corrección de estilo: Nathalie De la Cuadra N.

Citación sugerida: Ramírez Gómez, M. M., Serralde Ordóñez, D. P., Núñez Zarantes, V. M., Martínez Lemus, E. P., González Almario, C., Peñaranda Rolón, A. M., Zapata Narváez, Y. A., García Arias, F. L., Rodríguez Puertas, D., Rodríguez Velásquez, E. A., Díaz García, A., Mayorga Cubillos, F. G., Rojas Zambrano, E. D., Pulido Blanco, V. C., Beltrán Acosta, C. R., Sánchez Betancourt, E. P., Martínez Camelo, F. E., Barbosa, J. D., Wilches Ortiz, W. A., Hio, J. C., Burbano David, D. M., Caro Quintero, A., Sanabria Torres, C. E., Alarcón Ramírez, A. & Duarte Carvajalino, J. M. (2023). Avances de investigación en nutrición, manejo y control de enfermedades en el cultivo de uchuva. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406979>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogida 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: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>







Fotografía: Gabriel D. Roveda

CONTENIDO

Agradecimientos.....	11
Introducción.....	15
Capítulo 1. El cultivo de la uchuva en Colombia. Generalidades y recursos genéticos.....	19
Víctor Manuel Núñez Zarantes, Francy Liliana García Arias, Franklin Giovanni Mayorga Cubillos, Érika Patricia Sánchez Betancourt, Érika Patricia Martínez Lemus	
Origen.....	19
Taxonomía.....	20
Descripción botánica.....	20
Hábitat de la uchuva.....	23
Ecofisiología del cultivo.....	24
Fenología del cultivo.....	24
Recursos genéticos del género <i>Physalis</i>	25
Colecciones de germoplasma del género <i>Physalis</i>	26
Ecotipos cultivados en Colombia.....	27
Mejoramiento genético y variedades de uchuva en Colombia.....	28
Enfermedades fúngicas y bacterianas del cultivo de la uchuva en Colombia.....	37
Manejo preventivo de enfermedades.....	40





Capítulo 2. Recomendaciones de establecimiento del cultivo.....43

Érika Patricia Martínez Lemus, Fabián Enrique Martínez Camelo, Emerson Duván Rojas Zambrano,

David Rodríguez Puertas, Juan Clímaco Hio

Selección y preparación del terreno.....	43
Distancias de siembra, trazado y ahoyado.....	45
Siembra.....	46
Podas.....	47
Tipos de podas.....	48
Tutorado.....	50
Riego.....	51
Arvenses.....	55

Capítulo 3. Marchitamiento vascular en el cultivo de la uchuva.....59

Edwin Alirio Rodríguez Velásquez, Víctor Camilo Pulido Blanco, Johan David Barbosa, Diana Marcela

Burbano David, Alejandro Caro Quintero, Andrés Alarcón, Julio Martín Duarte Carvajalino, Carolina

González Almario

Síntomas del marchitamiento vascular de la uchuva.....	60
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>physali</i> (Foph).....	61
Caracterización de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>physali</i> (Foph) agente causal del marchitamiento vascular de uchuva.....	62
Caracterización morfológica de aislamientos de Foph de zonas productoras de uchuva del país.....	62
Caracterización molecular de aislamientos de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>physali</i> (Foph) de zonas productoras de uchuva del país.....	65
Caracterización patogénica de aislamientos de Foph de zonas productoras de uchuva del país.....	69
Selección de genotipos promisorios de uchuva a partir de la caracterización patogénica de <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>physali</i> (Foph).....	73

Escala cuantitativa estandarizada por fenotipificación para evaluación de la respuesta de <i>Physalis peruviana</i> a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>physali</i> (Foph).....	77
---	----

Capítulo 4. Nutrición integrada del cultivo de la uchuva.....85

María Margarita Ramírez Gómez, Diana Paola Serralde Ordóñez, Andrea María Peñaranda Rolón,

Wilmar Alexander Wilches Ortiz

Diagnóstico de la fertilidad de suelos asociados al cultivo de la uchuva.....	86
Uso y aplicación de microorganismos benéficos en el cultivo de la uchuva.....	96
Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA).....	98
Evaluación de inóculos nativos de HFMA en plantas de uchuva.....	100

Capítulo 5. Manejo integrado del cultivo como estrategia para una adecuada nutrición vegetal y mitigación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali*.....109

Diana Paola Serralde Ordóñez, María Margarita Ramírez Gómez, Andrea María Peñaranda Rolón,

Andrés Díaz García, Érika Patricia Martínez Lemus, Wilmar Alexander Wilches Ortiz, Emerson Duván

Rojas Zambrano, Camilo Ernesto Sanabria Torres

Establecimiento del ensayo.....	111
Efecto del manejo integrado del cultivo sobre el desarrollo del cultivo.....	116
Efecto del manejo integrado del cultivo de la uchuva sobre la severidad del marchitamiento vascular causado por <i>Fusarium oxysporum</i>	118
Efecto del manejo integrado de la uchuva sobre la productividad del cultivo.....	122
Efecto del manejo integrado de la uchuva sobre la calidad de la producción.....	124
Conclusiones.....	125



Capítulo 6. Aproximación al control del moho gris en el cultivo de uchuva.....127

Yimmy Alexander Zapata Narváez, Andrés Díaz García, Camilo Rubén Beltrán Acosta

Introducción.....	127
Establecimiento de una línea base para determinar la incidencia del moho gris en frutos a partir de infecciones quiescentes de <i>Botrytis cinerea</i>	128
Resultados y discusión.....	129
Evaluación de alternativas para el control de <i>Botrytis cinerea</i> en campo.....	132
Dinámica de las poblaciones de antagonistas en la filósfera.....	138
Consideraciones finales.....	140
Referencias.....	143
Autores.....	157

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación de los proyectos de investigación de los que se deriva esta obra.

También expresan un especial agradecimiento a la Gobernación de Cundinamarca que, a través del Sistema General de Regalías, financió la ejecución del proyecto de investigación titulado “Desarrollo transferencia de tecnología y conocimiento para la innovación que reduzca la baja competitividad de uchuva derivada de la emergencia por el Covid-19 mediante la disminución del marchitamiento vascular en Ubaté y Granada, Cundinamarca”, BPIN 2020000100700, Convenio SGR_2049, a partir del cual se materializó la publicación de este libro.

A los productores y sus familias, quienes a lo largo de estos años de investigación han mostrado su disposición y apoyo en el establecimiento y mantenimiento de los ensayos en campo, especialmente a Diego Castañeda y Benjamín Gómez, de Granada y Ubaté, respectivamente. Su conocimiento y experiencia en el cultivo de la uchuva constituyeron un gran aporte en la obtención de resultados de importancia para la sostenibilidad y competitividad presentados en este libro.

Al Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA, a los investigadores, profesionales de apoyo y operarios vinculados a los diferentes proyectos que participaron en la obtención de algunos de los resultados contenidos en este libro.







Fotografía: Gabriel D. Roveda

INTRODUCCIÓN

La uchuva es uno de los principales frutales de exportación del país y son muchos los retos que este sistema productivo enfrente. Uno de ellos, y tal vez el más eficiente, es el manejo nutricional y fitosanitario del cultivo. Enfermedades como el marchitamiento vascular causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* y el moho gris en poscosecha generan pérdidas considerables en cada uno de los eslabones de la cadena productiva.

La persistencia y resistencia de la enfermedad, así como la baja eficiencia de los mecanismos de control sobre el *F. oxysporum*, han generado durante las últimas décadas la trashumancia del cultivo, y esto ha generado contaminación en suelos con grandes impactos a nivel local y regional. Tal es el caso del departamento de Cundinamarca, que para 2007, de acuerdo con Agronet, era uno de los principales productores de uchuva y concentraba casi el 50 % de la producción del país, pero para 2011 la producción descendió drásticamente debido a la marchitez vascular, lo que generó el desplazamiento del cultivo a otras zonas productoras como Boyacá, Antioquia y Nariño. Hoy en día, la producción de uchuva en el país está distribuida en varias regiones, en especial por las ventajas que tiene el cultivo, ya que es uno de los principales productos de exportación del país. Esto lo hace rentable para pequeños productores, a pesar de la necesidad de trasladar continuamente los cultivos por el impacto causado por *F. oxysporum*.

El inadecuado manejo del cultivo y la falta de estrategias que permitan mantener su estado nutricional y fitosanitario han dejado a su paso impactos negativos sobre el ambiente. Por lo anterior, este libro busca dar un panorama general del avance que desde la investigación básica y aplicada se ha generado para sostenibilidad y competitividad del cultivo. Este propósito incluye la evaluación de diferentes materiales de siembra, las prácticas culturales y nutricionales para el



establecimiento del sistema productivo y el manejo integrado para una adecuada nutrición y mitigación de la marchitez vascular, mediante el uso de microorganismos benéficos como los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) y las bacterias promotoras de crecimiento vegetal, que no solo favorecen la nutrición vegetal, sino que además aportan en el control del *F. oxysporum*.

La importancia del cultivo de la uchuva no solo radica en la gran demanda internacional que tiene este fruto, sino también en que sus principales productores son pequeños, con menos de una hectárea; además, se considera un cultivo cuya oferta laboral se centra en mujeres y favorece la economía rural.

Una de las principales consecuencias de la pandemia causada por Covid-19 fue el abandono de los cultivos y, sobre todo, la ralentización y disminución de las exportaciones. Adicionalmente, el impacto geopolítico de la guerra en Ucrania ha aumentado los costos de los fertilizantes, lo que, a su vez, ha creado nuevos retos en la producción agrícola. Los efectos de estas situaciones no son ajenos al cultivo de la uchuva, cuyos principales costos de producción están asociados a la fertilización química y a la mano de obra. Por lo tanto, este libro y los temas aquí abordados permiten generar una visión estratégica para la reactivación económica y sostenible del cultivo.

Con el primer capítulo, el lector podrá tener un panorama general del origen, la taxonomía, el hábitat, la ecofisiología, la fenología y las principales enfermedades asociadas al cultivo. Igualmente, se presenta la amplia diversidad genética que el género *Physalis* tiene en el territorio colombiano y cómo a través de la investigación se han diseñado y evaluado estrategias de mejoramiento genético para optimizar la productividad y sanidad del cultivo.

El segundo capítulo reúne las diferentes estrategias y prácticas culturales para un adecuado establecimiento del cultivo. Con este fin se aborda la selección y forma

de adecuación del terreno, el manejo del cultivo, incluyendo labores culturales como el tutorado, las distancias de siembra, el riego y el manejo de podas, con énfasis en el control de la diseminación de enfermedades fitosanitarias como la marchitez vascular y el manejo de arvenses.

En el tercer capítulo, se presentan los principales avances en la investigación realizada por AGROSAVIA en torno al *Fusarium oxysporum*, agente causante de la marchitez vascular. Allí se expone la sintomatología interna y externa ocasionada por la colonización de los haces vasculares de la planta por parte del hongo. El *Fusarium* spp. es un hongo cosmopolita y no todos sus géneros son capaces de penetrar las raíces de las plantas de uchuva, por lo que este capítulo aborda las principales características genéticas, fenotípicas y virulentas de algunas cepas de *F. oxysporum* f. sp. *physali* (Foph), específico para la uchuva.

El cuarto capítulo está relacionado con la nutrición integrada del cultivo, y comprende el diagnóstico y la calidad de suelos asociados al cultivo de la uchuva, la optimización de la fertilización con el uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares y la respuesta que estos microorganismos generan en la planta en términos de la productividad del cultivo.

En el quinto capítulo, se presentan los resultados más relevantes de un trabajo de investigación que reúne algunas de las estrategias planteadas en los capítulos anteriores para abordar de forma integrada aspectos relacionados con la nutrición del cultivo y la mitigación de la marchitez vascular.

En el sexto y último capítulo, se presentan los resultados obtenidos por un estudio de investigación enfocado en el manejo y control de *Botrytis cinerea* o moho gris y cómo el manejo de esta enfermedad tiene una incidencia desde el desarrollo del cultivo hasta la etapa de poscosecha.





Fotografía: Gabriel D. Roveda

Capítulo 1. El cultivo de la uchuva en Colombia. Generalidades, recursos genéticos

Víctor Manuel Núñez Zarantes, Francy Liliana García Arias,
Franklin Giovanni Mayorga Cubillos, Érika Patricia Sánchez
Betancourt, Érika Patricia Martínez Lemus

Las solanáceas son una familia compuesta por plantas herbáceas con 100 géneros y 2.500 especies; tienen una distribución cosmopolita y se encuentran frecuentemente en regiones tropicales, subtropicales y templadas. En la familia, se destacan especies cultivadas como papa, tomate, ajíes y berenjena (Sierra-Muñoz et al., 2015). *Physalis* es el segundo género mejor representado en la familia después de *Solanum* y cuenta con 90 especies, de las cuales se destacan como cultivos comerciales el tomate de cáscara *Physalis philadelphica* o *Physalis ixocarpa* y la uchuva, *Physalis peruviana* L.

En Colombia, las exportaciones de uchuva se iniciaron a mediados de los años ochenta, con el establecimiento de la especie como cultivo comercial. Los principales destinos de exportación son Países Bajos, Estados Unidos, Alemania, Canadá, Bélgica, Francia, Brasil, entre otros. La uchuva ha ganado auge no solo a nivel comercial, sino también industrial, farmacéutico, nutracéutico y medicinal debido a sus propiedades, lo cual la convierte en una alternativa productiva para pequeños, medianos y grandes productores.

Origen

Perú es considerado el país de origen de la uchuva; sin embargo, existen evidencias de un posible origen en Brasil y posterior aclimatación en Chile y Perú (Legge, 1974). Durante la época precolombina, la uchuva crecía de manera silvestre en la



zona Andina y en la década de los ochenta empezó como cultivo comercial. La especie fue introducida en Sudáfrica hace más de 200 años y luego distribuida en Kenia, California, Gran Bretaña, Australia, Zimbawe, Nueva Zelanda, Hawái e India (Madriñán Palomino, 2010).

Taxonomía

A continuación, se presenta la clasificación taxonómica de *Physalis peruviana* según el Natural Resources Conservation Service (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2013):

Reino: *Plantae*

Subreino: *Tracheobionta*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Subclase: *Asteridae*

Orden: *Solanales*

Familia: *Solanaceae*

Género: *Physalis*

Especie: *Physalis peruviana* L.

Descripción botánica

En condiciones naturales, la uchuva es perenne y presenta un crecimiento ramificado de tipo arbustivo indeterminado (figura 1.1). Las ramas tienen puntos apicales en permanente estado vegetativo, el cual se mantiene durante todo el ciclo de vida de la planta de manera paralela con los procesos de floración y producción. La planta alcanza una altura entre 1 y 1,5 metros; sin embargo, en condiciones de cultivo con tutorado puede llegar a los 2,0 metros aproximadamente.



Figura 1.1. Arquitectura del desarrollo de la planta de uchuva en cultivo.

Foto: Víctor Manuel Núñez Zarantes

El tallo es principalmente herbáceo, pero se lignifica en la base con la edad. Es cilíndrico, pero algunos genotipos pueden presentar ángulos poco pronunciados. Es de tipo erecto con presencia de pubescencia. De la base del tallo aparecen brotes que pueden llegar a ser tan vigorosos como el tallo principal, el cual se divide de manera natural en dos o tres ramas y así da origen a una horqueta característica que indica el inicio de la ramificación de la planta (figura 1.1).

La hoja es una lámina de forma acorazonada con bordes que pueden ser dentados, semidentados o lisos con mucha o poca vellosidad, dependiendo del genotipo. El ápice puede ser acuminado o agudo, y la base es redonda, acordada o auriculada.

El sistema radical es fibroso y tiene una raíz principal o pivotante que puede llegar a una profundidad de 50-80 centímetros (Fischer, 1989). La masa radical ramificada generalmente se encuentra a 15 centímetros de profundidad y el tipo de raíz depende del sistema de propagación. Las raíces de plantas propagadas por estacas o por cultivo *in vitro* no presentan una raíz pivotante; por lo tanto, su capacidad de



anclaje puede ser menor, pero las plantas pueden producir más rápido.

La flor se origina de las axilas de las hojas en ramas primarias, secundarias y terciarias, y por lo general está acompañada por una o dos hojas presentes en cada nudo. Es hermafrodita y completa, solitaria con pedicelo corto, corola de forma campanulada, tubular y puede presentar entre cinco y ocho pétalos soldados de color principalmente amarillo, aunque también se encuentran plantas con flores de color amarillo verdoso o con tonalidades lila; asimismo, se observa variación entre cinco a ocho anteras (figura 1.2).

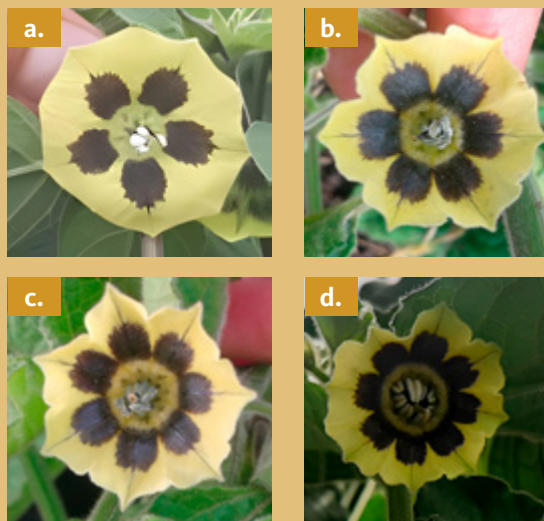


Figura 1.2. Tipos de flores de la uchuva. a. Flor con cinco anteras; b. Flor con seis anteras; c. Flor con siete anteras; d. Flor con ocho anteras.
Fotos: Francy Liliana García Arias

El cáliz es una hoja modificada con cinco sépalos fusionados, en los que se observan nervaduras divisorias con vellosidades; es fibroso, persistente y cubre el fruto totalmente a manera de capuchón. Además de proteger el fruto y de proveer una cámara de aire, el cáliz contribuye a su desarrollo aportando fotosintatos o alimento al fruto. Puede presentar forma globosa, alargada o achatada (figura 1.3).

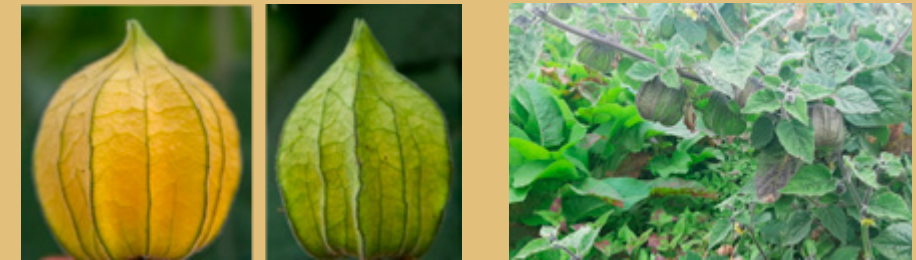


Figura 1.3. Forma del cáliz de uchuva con forma de capuchón. a. Cáliz globoso; b. Cáliz alargado; c. Cáliz achatado.

Fotos: Francy Liliana García Arias, Víctor Manuel Núñez Zarantes

El fruto es una baya jugosa generalmente de color amarillo y con diversas tonalidades. Se pueden encontrar variaciones de color que van desde naranja, verde claro y verde amarillento, hasta varios tonos púrpuras (observación personal; Ligarreto et al., 2005). La forma puede ser globosa, ovoide, obovoide e incluso obcordada (García-Arias et al., 2018) y contiene entre 100 y 300 semillas. El tamaño y peso dependen del material genético; la superficie es lisa y en algunos casos se puede observar acumulación de resina en ciertos puntos. La semilla es pequeña, de forma lenticelar o reniforme y tiene un tamaño de 1,5 a 2 mm de diámetro (Fischer & Miranda, 2012). El peso de 1.000 semillas está alrededor de 1,1 gramos.

Hábitat de la uchuva

La uchuva es una especie frutal de clima frío que se adapta en Colombia a una altitud entre 1.800 y 2.800 m s. n. m., y a temperaturas promedio anuales entre 13°C y 16°C (Fischer & Miranda, 2012). La uchuva se considera rústica, puesto que crece en diferentes condiciones de suelos a la orilla de los bosques, en potreros, praderas naturales, al borde de caminos o carreteras, en patios urbanos y rurales, e incluso sobre paredes y andenes de concreto. Como cultivo, la uchuva se ha posicionado en varias zonas agroclimáticas que difieren en sus condiciones ambientales.



Ecofisiología del cultivo

La temperatura es uno de los factores más importantes para el cultivo de uchuva; el promedio de temperatura óptimo está entre 13°C y 18°C. La temperatura igual o por encima de 30°C afecta considerablemente la floración y las heladas limitan el crecimiento en puntos de desarrollo de la planta como yemas laterales, yemas apicales, yemas florales e inicio de hojas nuevas; el exceso de agua causa rajado del fruto y las plantas toleran poco el anegamiento (Fischer & Melgarejo, 2014). La precipitación requerida oscila entre 1.000 y 2.000 mm a lo largo del año, con una humedad relativa entre 70 % y 80 % (Fischer & Angulo, 1999). En varios nichos especiales dentro de las diferentes zonas de la región andina, se encuentran suelos con una estructura granular, de textura franco-arenosa o franco-arcillosa, con un contenido de materia orgánica mayor que el 3%, con un pH entre los 5,5 y 6,5 (Almanza & Fischer, 2012).

Fenología del cultivo

Aunque la uchuva es una planta rústica, de estructura semileñosa y originaria de zonas andinas, se adapta a zonas que tienen diferentes condiciones a las de los Andes suramericanos. Su buen comportamiento agrícola dependerá de las condiciones climáticas en las que se establezca el sistema productivo y también de las prácticas de manejo que se adopten y el material de siembra. En varios estudios, se registra información sobre el comportamiento del cultivo de uchuva en campo y en invernadero; por ejemplo, Ramírez et al. (2013) indican que la fenología de la uchuva es similar a la de otras especies de la familia solanáceas y propusieron los siguientes estados fenológicos para la uchuva en condiciones de cultivo en Colombia.

Primero está la germinación de la semilla (estado 0), seguida por el desarrollo de la hoja (estado 1). Luego ocurre la formación de brotes laterales que marcan el inicio

de la diferenciación junto con el origen de la primera bifurcación (estado 2). En seguida aparecen las primeras yemas florales (estado 3), que marcan la separación del evento vegetativo y el reproductivo. Sin embargo, el proceso de formación de ramas cumple un patrón definido en el que aparecen ramas secundarias. En el ángulo de cada bifurcación aparece una flor y una hoja. En la medida que la planta crece, ocurren eventos vegetativos y reproductivos de manera simultánea (estado 4). Esto está marcado por la formación de chupones basales, ramas laterales y emergencia de inflorescencias con sus respectivas hojas (estado 5), floración (estado 6), desarrollo de fruto (estado 7), maduración del fruto y formación de semilla (estado 8). A lo largo de la rama secundaria, aparecen hojas acompañadas de una flor. El desarrollo del fruto está ligado a la formación del cáliz que, como hoja modificada, es indispensable para el desarrollo completo del fruto.

Aunque se han establecido algunos cultivos bajo cubierta o en invernadero en Colombia, la fenología no se ha definido para estas condiciones. En México, Orozco-Balbuena et al. (2021) realizaron un estudio de fenología con cuatro genotipos bajo condiciones de cultivo en invernadero e hidropónico. Los genotipos presentaron diferencias en los estados fenológicos, lo cual indica que las condiciones de crecimiento de las plantas y su genética son factores determinantes en el desarrollo del cultivo en el tiempo.

Recursos genéticos del género *Physalis*

El centro de diversidad del género *Physalis* es México, pues cuenta con más de 70 especies, 46 de las cuales son endémicas (Martínez, 1998; Vargas et al., 2001). Se distribuye en Estados Unidos, Centroamérica, Suramérica, las Antillas y México (Martínez, 1998). *Physalis* es un género fácilmente identificable, dado que sus frutos con forma de baya se forman y desarrollan dentro de un cáliz acrescente. Varias especies del género han sido cultivadas gracias a su contenido nutricional e interés comercial; algunas de estas se cultivan por su baya jugosa, como *P. ixocarpa* conocida



en México como tomate verde o tomate de cáscara, y *P. angulata* y *P. mínima*. Estas especies crecen en el sudeste de Asia como malezas y son comestibles. También se encuentra *P. peruviana*, conocida como uchuva en Colombia. Otras especies como *P. alkenengi*, conocida como “linterna china” se usa como ornamental debido a su cáliz de color rojo (Martínez, 1998; Ligarreto et al., 2005).

Colecciones de germoplasma del género *Physalis*

El Banco de Germoplasma de la Nación Colombiana, que está a cargo de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) cuenta con 173 accesiones del género *Physalis* y especies relacionadas, de las cuales 41 corresponden a *P. peruviana* y las restantes, a especies como *P. aequata*, *P. alkekengi*, *P. coztomatl*, *P. curassavica*, *P. floridana*, *P. fuscomaculata*, *P. ixocarpa*, *P. mendocina*, *P. mexicana*, *P. philadelphica*, *P. pruinosa*, *P. angulata* y *Nicandra physaloides*. Esta colección cuenta con accesiones originarias de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Nariño, Tolima y Valle del Cauca en Colombia, y algunas procedentes de Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador, México y Nepal.

AGROSAVIA, por su parte, cuenta con una colección de trabajo de 874 accesiones de *P. peruviana*. Dentro de esta colección hay accesiones del Banco de Germoplasma de la Nación Colombiana y accesiones cedidas por la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Esta colección está compuesta por 282 accesiones derivadas de cultivo de anteras, 48 accesiones malezas, asilvestradas y silvestres, 98 materiales de agricultor (cultivadas), 128 híbridos, 100 accesiones obtenidas por tratamiento de colchicina para el aumento de cromosomas, las variedades Corpoica Andina y Corpoica Dorada, y las restantes accesiones son indeterminadas; todas estas se encuentran conservadas en semillas o en condiciones *in vitro*. Del total de accesiones, 842 son de origen colombiano y 9 son de Ecuador, India, Nepal, Polonia y Sur África.

La facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, cuenta con una colección de germoplasma de *P. peruviana* compuesta por 54 accesiones, en la cual hay 21 accesiones asilvestradas, 19 cultivadas y 14 indeterminadas procedentes de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander (Colombia) (Herrera Moreno et al., 2012).

Existe otra colección en la Universidad de Nariño, que cuenta con 65 accesiones de *P. peruviana*. Del total de accesiones, 20 corresponden a malezas, material silvestre e indeterminadas; 9 líneas doble haploides (cedidas por AGROSAVIA) y 36 híbridos obtenidos entre las líneas doble haploides. La mayoría de sus accesiones son originarias de Nariño y algunas de Cundinamarca y Cauca (Colombia) y de Perú (David Duarte, comunicación personal, 2021).

Ecotipos cultivados en Colombia

Kenia, Sudáfrica y Colombia son los tres ecotipos de uchuva de importancia comercial, y el nombre de cada una se deriva del país de procedencia. El ecotipo Kenia presenta menor número de hojas, frutos y cáliz alargados, y el fruto pesa entre 6 y 7 gramos. Este ecotipo presenta bajo índice de semilla y homogeneidad en el peso de semilla (Miranda, 2005). Los frutos del ecotipo Sudáfrica son achatados y tienen un peso entre 6 y 7 gramos, similar al ecotipo Kenia (Peña et al., 2010). El ecotipo Colombia tiene mayor número de hojas por planta; los frutos y el cáliz son globosos; presenta mayor número de frutos por planta, con un peso promedio de 4 gramos y mejor coloración. El peso de las semillas es más variable en este ecotipo. El contenido de sólidos solubles es mayor comparado con los otros dos ecotipos (Flórez et al., 2000).



Mejoramiento genético y variedades de uchuva en Colombia

El mejoramiento genético en el cultivo de la uchuva ha sido muy fragmentado y discontinuo desde que apareció como cultivo en Colombia. El equipo de mejoramiento del cultivo de AGROSAVIA, desde 2008, se ha embarcado en la conformación de un plan de investigación en el que se seleccionen o generen genotipos con mejor adaptación y atributos superiores para la sostenibilidad de las plantaciones comerciales y el mercado internacional. El plan se ha enfocado en buscar genotipos con buen comportamiento ante *Fusarium oxysporum*, altos rendimientos y calidad de fruta exigida por el consumidor.

Teniendo en cuenta que las plantaciones de uchuva en el país muestran una alta heterogeneidad debido a la mezcla de materiales y a la heterocigosidad propia de la especie, AGROSAVIA en 2008 comenzó un proyecto con la finalidad de estandarizar el cultivo *in vitro* de anteras en la especie. Como material base, se colectaron botones florales de plantaciones comerciales con un excelente manejo fitosanitario en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, y a partir de esto se continuó el proceso en condiciones asépticas en laboratorio hasta obtener plantas completas. Como resultado de este proyecto, se consiguieron genotipos haploides y dihaploides que genéticamente tienen una mayor homocigosidad y presentan una mayor homogeneidad, en especial en el tamaño de los frutos (Suescún Peñaranda et al., 2011). A partir de los materiales obtenidos, se realizó una evaluación en campo, en la cual se seleccionaron materiales dihaploides con atributos deseables para avanzar en el programa de mejoramiento.

Un set de 10 materiales obtenidos de cultivo de anteras y seleccionados en campo se emplearon en cruzamientos dialélicos, tanto directos como recíprocos, de tal manera que fuera posible evaluar la heterocigosidad y el vigor híbrido en los cruzamientos resultantes. Hasta el momento, se han evaluado 50 cruzamientos de los 100 que se consiguieron, y de esta manera se encontraron materiales muy

promisorios cuyos rendimientos experimentales estuvieron por encima de 40 t/ha año; esta cifra sobrepasó los rendimientos promedios nacionales de 12 t/ha/año. Estos cruzamientos serán llevados a parcelas comerciales para evaluar nuevamente su comportamiento y avanzar en el programa de mejoramiento. Paralelamente, se han realizado cruzamientos entre *P. peruviana* y *P. floridana* para evaluar el patrón de herencia de la resistencia a *F. oxysporum* en las poblaciones obtenidas. Como resultado se encontró una distorsión mendeliana del 75% favorecida por la presencia de un 63,75% de alelos maternos (Berdugo Caly et al., 2015).

Con el objetivo de conseguir variedades de uchuva para el país, en AGROSAVIA se seleccionaron nueve materiales, dentro de los cuales tres se obtuvieron del cultivo *in vitro* de anteras y los demás provenían del Banco de Germoplasma de la Nación Colombiana, administrado por AGROSAVIA. Los materiales se evaluaron en campo y se seleccionaron de acuerdo con sus atributos de rendimiento y calidad de fruta. Los nueve materiales tuvieron pruebas de evaluación agronómica (PEA) en siete localidades: Rionegro, La Unión y San Vicente, en Antioquia; Ipiales, Puerres y Pasto, en Nariño, y Mosquera, en Cundinamarca, durante 15 cosechas (García-Arias et al., 2018). Como resultado de estas PEA se obtuvo el registro y la liberación de las dos primeras variedades de uchuva para Colombia: Corpoica Andina y Corpoica Dorada, las cuales se caracterizan por presentar buenos rendimiento y calidad de fruta (Núñez Zarantes et al., 2016a, 2016b; tabla 1). Estas variedades se les entregaron a más de 200 productores a nivel nacional y actualmente se encuentran en fase de validación en áreas comerciales.

A continuación, se describen las características de dichas variedades:

Corpoica Dorada (figuras 1.4a y 1.4b): se obtuvo a partir del cultivo de anteras y posterior ciclo de selección masal, y su siembra está recomendada para los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Antioquia. Esta variedad comienza su producción a los 172 días después del trasplante y presenta una producción



promedio de 20,0 t/ha. El peso promedio del fruto es de 4,8 g, con un contenido de sólidos solubles totales de 14,45 °Brix y porcentaje de rajado de 10,63 %.

La variedad Corpoica Andina (figuras 1.4c y 1.4d): se obtuvo a partir de tres ciclos de selección masal y su siembra está recomendada para los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Antioquia y Nariño. Esta variedad comienza su producción a los 173 días después del trasplante y presenta una producción promedio de 20,4 t/ha. El peso promedio del fruto es de 5,0 g, con un contenido de sólidos solubles totales (SST) de 14,24 °Brix y porcentaje de rajado de 9,57 %.

Estas dos variedades han mostrado una mayor precocidad en floración y maduración de fruta. Asimismo, evidencian un rendimiento superior al reportado en 2019 para los cultivos en los departamentos más representativos: Antioquia con 18,1 t/ha, Tolima con 13,33 t/ha, Cundinamarca con 13,09 t/ha y Boyacá con 12,17 t/ha, y al rendimiento nacional de 12,0 t/ha (Agronet, 2019). En cuanto a la calidad de la fruta, las dos variedades presentan contenidos de sólidos solubles totales similares a los reportados para los ecotipos Kenia y Sudáfrica (Galvis et al., 2005) y menor porcentaje de rajado en fruta comparado con el que se tiene a nivel nacional, el cual oscila entre el 20 % y el 45 % (Fischer, 2005), y reportes de accesiones de uchuva con rajado casi del 60 % (García-Arias et al., 2018). Estas dos variedades son de polinización abierta, así que tomar semilla de las plantaciones comerciales no generará plantas ni producción iguales a la semilla original; por lo tanto, se recomienda solicitar la semilla a AGROSAVIA.



Figura 1.4. Variedades de uchuva seleccionadas en AGROSAVIA. a. Planta de la variedad Corpoica Dorada; b. Fruto de la variedad Corpoica Dorada; c. Planta de la variedad Corpoica Andina; d. Fruto de la variedad Corpoica Andina.
Fotos: Víctor Manuel Núñez Zarantes





Tabla 1.1. Características de las variedades de uchuva Corpoica Andina y Corpoica Dorada

Características	Variedad Corpoica Andina	Variedad Corpoica Dorada
Método	Selección masal	Doble haploides-selección masal
Adaptación, subregión natural	Montañas de Antioquia y Altiplano Cundiboyacense	Altiplano cundiboyacense, nudo de los pastos y montañas de Antioquia
Días a floración	103,7	94
Días a primera cosecha	173	172
Flor	Completa, amarilla con áreas moradas	Completa, amarilla con áreas moradas
Color de fruto	Amarillo intenso	Amarillo intenso
Capacho		Café claro
Forma de fruto	Redondo	Redondo
Color de las hojas desarrolladas	Verde	Verde
Color del pecíolo	Morado	Verde con líneas moradas
Pubescencia en las hojas	Presente, corta y suave	Presente, corta
Remoción del pedicelo	Resistente	Resistente
Peso del fruto	4,98 g	4,77 g
Grado Brix (%)	14,24	14,4
Rajado (%)	9,57%	5,35%
Hábito de crecimiento	Indeterminado	Indeterminado
Altura a floración (cm)	52,1	56,3
Morfología del tallo	Redondo con tres aristas protuberantes	Ligeramente angular con cuatro aristas
Color externo de la corteza del tallo	Verde oscuro con pigmentación morada	Verde morada
Color externo de la cutícula del tallo	Morado	Morado
Color interno de la cutícula del tallo	Morado	Verde
Diámetro del tallo a primera cosecha (mm)	22	23
Longitud de la rama más desarrollada (cm)	105,5	104,2
Número de nudos en la rama más desarrolladas	16,6	16,5
Pubescencia en las ramas	Presente, muy corta	Presente, corta
Morfología de la hoja	Borde dentado hacia la base y liso hacia el ápice, forma obovada	Borde dentado, forma obovada
Tamaño de la Hoja apical (mm)	Longitud 47,3 Ancho 33,2	Longitud 59,72 Ancho 42,83
Ploidía	2n = 4X = 48	2(n) = 2(24) = 48
Rendimiento promedio durante cinco meses de cultivo (kg/ha)	8493	8215

Fuente: Elaboración propia

Selección y mantenimiento del material de siembra

En Colombia, los productores obtienen el material de siembra de varias especies mediante la colecta y selección propia de un material genético disponible en algunas fincas o en algunos viveros. En el caso de la uchuva, los productores confían en la fuente de materiales que ofrecen los viveros. Esta estrategia generalmente funciona bien para algunos productores; por lo tanto, se cuenta con materiales de



siembra excelentes en algunas zonas de producción. Sin embargo, la escogencia de estos materiales de siembra no se hace de manera sistemática, ni tampoco se tiene el conocimiento para la obtención y selección de la semilla, lo cual es supremamente importante.

Por su naturaleza, la uchuva tiene un alto porcentaje de polinización cruzada y, por ende, toda semilla que se derive del material plantado se comporta como un híbrido. Es así como las variedades hasta ahora liberadas comercialmente, en Bulgaria y en Colombia, son de polinización abierta. Esto quiere decir que los hijos no serán una copia de la planta de donde se cosechan los frutos para semilla, a no ser que las plantas madre se propaguen vegetativamente y el material de siembra entonces será un clon.

Otro tema para tener en cuenta es que no todos los materiales de siembra que se seleccionen se comportan bien en todos los sitios o ambientes de producción. Esto es algo que los productores deben tener presente, ya que muchas veces califican un material como excelente porque se comporta muy bien en sitio en una zona de producción y al llevarlo a otros sitios, o en el caso de Colombia a otros departamentos, su comportamiento no es estable y por lo tanto cambian algunos atributos, especialmente el rendimiento o tamaño de fruta.

A partir de lo anterior, uno de los factores determinantes para aumentar o mantener los rendimientos en los cultivos de uchuva es el uso de material de siembra de alta calidad y con adaptación apropiada. Así, pues, es de vital importancia conocer la procedencia, la forma de selección y el mantenimiento del material de siembra para asegurar la estabilidad genética de la semilla en el tiempo. En términos generales, el material de siembra se puede obtener a partir de dos fuentes. La primera corresponde a la semilla de variedades certificadas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), las cuales se han obtenido a través de investigación y desarrollo en mejoramiento genético, y han surtido varios ciclos de evaluación,



selección y recombinación hasta su registro como variedad comercial. En este caso, el productor tiene la ventaja de adquirir un material de siembra con progenitores conocidos (madre y padre), calidad genética, adaptación comprobada a una o varias regiones productoras y con atributos agronómicos y de calidad claramente identificados.

La segunda fuente corresponde a la semilla que se obtiene a través de selección tradicional no sistemática, que realizan los agricultores en las diferentes zonas productoras. Para esto, los productores seleccionan los frutos de las mejores plantas de los cultivos teniendo en cuenta su estado fitosanitario, producción, tamaño, color y sabor del fruto. No obstante, aunque esto es económico y práctico, puede generar pérdida de variabilidad y de capacidad productiva comercial. En este proceso, los frutos colectados de las plantas de uchuva seleccionadas podrían conseguirse a partir de la fecundación con polen de otras plantas del mismo cultivo o de cultivos aledaños; por lo tanto, solo se conoce el progenitor femenino (madre) de la semilla obtenida.

En otras ocasiones, se escogen los frutos de mayor tamaño de toda la cosecha y así tener la semilla para la siguiente siembra. En este caso, ninguno de los progenitores es conocido, y la calidad genética de la semilla se hace más crítica. En los dos casos mencionados, la semilla extraída de frutos de plantas de cultivos comerciales con polinización no controlada genera poblaciones mezcladas con plantas y frutos de calidad variable. En uchuva, como en todos los frutales, la uniformidad de la fruta para consumo fresco o industrial es un factor importante y determinante para el mercado.

La degeneración o el deterioro de un material de siembra seleccionado y cultivado puede ocurrir por varios factores durante los ciclos de producción. Al respecto, Kadam (1942) menciona los siguientes factores importantes como responsables del deterioro de variedades: variaciones que ocurren durante el desarrollo, mezclas

mecánicas, mutaciones, cruzamientos naturales, variaciones genéticas menores, procedimientos de selección e influencia de plagas y enfermedades.

La recomendación es que los productores usen las semillas de variedades comerciales con registro ante el ICA, en la medida que estén disponibles. En caso de que el productor elija la opción de seleccionar su propia semilla, se sugieren los siguientes pasos:

1. Seleccionar las plantas del cultivo comercial: entre 50 y 100 de las mejores plantas con un buen estado fitosanitario, buen desarrollo, buen rendimiento y tamaño de fruto.
2. En las plantas seleccionadas, englasinar o embolsar botones florales totalmente cerrados para evitar la contaminación por polen foráneo. Al englasinar los botones, se garantiza la autofecundación de la flor y por ende la obtención de semilla únicamente de la planta seleccionada. Para englasinar, se recomienda utilizar bolsa de papel glaseado o papel encerado, que evita que la bolsa se deshaga con la humedad exterior.
3. Marcar la bolsa con lápiz e indicar la fecha cuando se englasinó.
4. Quince días después de englasinado el botón floral, se retira la bolsa de glaseado y el fruto en crecimiento se encierra en una malla para fruta, con el fin de evitar que este se pierda por acción del viento o insectos. El fruto permanecerá en la malla hasta que se encuentre maduro.
5. Cuando los frutos obtenidos se encuentren maduros, se cosechan y se realiza la extracción de la semilla de todos los frutos juntos mediante su fermentación. No se recomienda el uso de licuadora para extraer las semillas, ya que puede causar daño al embrión. En uchuva, cada fruto puede producir entre 200 y 300 semillas, lo cual garantiza una buena cantidad de semilla por planta.
6. Las semillas obtenidas se utilizan para la siembra siguiente. Si el productor cuenta con la posibilidad de establecer un lote aislado con mínimo 200 plantas de semilla previamente escogida por producción, calidad y comportamiento



ante plagas y enfermedades, se recomienda observar de manera cuidadosa y seleccionar aquellas plantas fuera de tipo o diferentes al tipo de planta que se desea. La mejor práctica es hacerlo antes de que ocurra la floración para evitar que el polen de aquellas plantas indeseables no lleguen a las flores de las plantas deseables. Otra posibilidad es seleccionar entre 50 y 100 plantas y propagarlas vegetativamente, de tal manera que en la plantación haya una mezcla de clones y no un solo clon para evitar excesiva uniformidad.

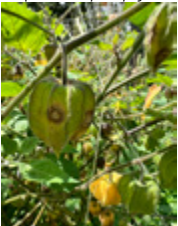
A continuación, se presentan algunas recomendaciones prácticas para el mantenimiento de la pureza o identidad genética del material de siembra:

1. Usar semilla aprobada o de procedencia reconocida.
2. Inspeccionar los lotes antes de la siembra del cultivo, en especial si hay antecedentes de cultivos de uchuva.
3. Inspeccionar las plantaciones para verificar pureza genética, identificar presencia de espontáneas en el cultivo y eliminarlas.
4. Tomar muestra de frutos para compararlos con las plantas deseables de la selección anterior.
5. En el proceso de obtención de material de siembra de calidad, la extracción y la conservación de la semilla son factores determinantes. La extracción debe realizarse de manera cuidadosa utilizando implementos limpios y libres de otras semillas, y buscando no tener contaminación de otros genotipos. La adecuada conservación de la semilla determina su viabilidad durante muchos años, por lo cual se recomienda almacenarla a 4°C en bolsas trilaminadas sin mezclar con otros genotipos.

Enfermedades fúngicas y bacterianas del cultivo de la uchuva en Colombia

El marchitamiento vascular ocasionado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph) es la enfermedad que se considera más importante en el cultivo de la uchuva en Colombia, y se abordará de forma detallada en el capítulo 2. Sin embargo, existen otras enfermedades de origen fúngico y bacteriano que pueden afectar las plantas; esas enfermedades atacan órganos aéreos y raíces de las plantas, y pueden generar pérdidas importantes por deterioro y reducción de la calidad del fruto, así como en el rendimiento de las plantas. Esto implica el uso excesivo de fungicidas de síntesis química y un rechazo internacional a la fruta. En la tabla 1.2, se describen algunas de estas enfermedades, de acuerdo con estudios y reportes realizados por varios investigadores.



Tabla 1.2. Síntomas de las principales enfermedades asociadas al cultivo de la uchuva		
Enfermedad	Órgano afectado	Síntomas y manejo
Muerte descendente de la uchuva <i>Boeremia exigua</i> var. <i>exigua</i> , <i>sinónimo Phoma exigua</i> var. <i>Exigua</i> (Aguilar, 2020; Aveskamp et al., 2010).	Hojas, tallos y frutos	Pequeñas manchas oscuras en los diferentes órganos. Dentro de la lesión se pueden evidenciar gránulos negros denominados picnidios (estructuras que albergan esporas). En los tallos, se forman lesiones irregulares y alargadas que producen la muerte descendente. En el cáliz o capacho, aparecen pequeñas manchas oscuras.
	 Figura 1.5 Tallo y frutos afectados por <i>Phoma</i> spp.	En el fruto, los síntomas de la enfermedad comienzan en el pedúnculo y se forma una lesión anillada en este punto, la cual avanza de manera gradual hasta el extremo; a medida que aumenta la incidencia de la enfermedad, la mancha se vuelve más oscura, y en condiciones de alta humedad la lesión puede desarrollar la presencia de un micelio de color blanco (figura 1.5). En las hojas, se observan lesiones necróticas generalmente de forma triangular (figura 1.6). (Zapata P. et al., 2002).
Mancha negra de hojas y capachos <i>Alternaria solani</i>	Hojas y frutos	Los síntomas de la enfermedad se expresan como manchas de color pardo a negro (Lagos et al., 2021). Se presentan círculos concéntricos y la lesión está acompañada de un halo clorótico. Si no hay control oportuno, toda la hoja se torna clorótica y posteriormente se seca (Fischer et al., 2005; figura 1.7). En frutos próximos a su madurez, cambiando las características de turgencia y calidad (figura 1.8).
	 Figura 1.7 Lesión clorótica con círculos concéntricos ocasionados por <i>Alternaria solani</i>.  Figura 1.8 Lesión en cáliz con presencia de círculos concéntricos característicos de la mancha negra:	
Mancha foliar de la hoja del capacho <i>Cercospora physalidis</i>		Los síntomas en las hojas se manifiestan como pequeños puntos necróticos de forma angular y de color gris (figura 1.9). En otros casos, las manchas son redondas o irregulares con bordes definidos (Miranda et al., 2016). En el envés, se observan abundantes estructuras que le dan una coloración grisácea y que corresponden a los conidióforos y conidios. En estados avanzados, la caída de las hojas y fructificación prematura pueden presentarse (Forero de La-Rota, 2014; Silva Tamayo, 2006; Zapata P. et al., 2002). Las lesiones presentes en el tallo y en las ramas de las plantas afectadas muestran una pudrición húmeda y de color oscuro que avanza hasta colonizar gran parte del tejido aéreo (Góngora Salgado & Rojas Gracias, 2006); en algunos casos, la infección se inicia sobre una hoja y avanza después hacia el tallo, en el cual es posible encontrar en los tejidos internos cantidad de las estructuras de resistencia (Zapata Pareja, 2011). El capacho también es afectado de forma similar a la hoja, con borde definido y centros de color grisáceo, que cubren el tejido de micelio, lo que le da una apariencia negruzca que deteriora la apariencia del capacho y la calidad de exportación (Fischer et al., 2014; figura 1.10).
	 Figura 1.9 Lesiones iniciales en el borde izquierdo de la hoja, denominadas "ojo de pollo" y lesión avanzada en el centro, ocasionada por <i>Cercospora physalidis</i>.  Figura 1.10 Mancha foliar en el capacho.	

Moho gris <i>Botrytis cinerea</i> (Pers. Fr)	Flores y frutos  Figura 1.11 Fruto en formación con daño ocasionada por <i>Botrytis cinerea</i>.	En flores, los sépalos senescentes son los más susceptibles y los pétalos pueden ser infectados por esporas del patógeno antes de que estos se abran o se produzca la formación del fruto (figura 1.11). En frutos, el daño que ocasionan las lesiones por el hongo son blandas y acuosas, y por lo general se presentan en la región apical y en la unión entre el pedúnculo y el fruto; la lesión se caracteriza por presentar abundantes conidios de color grisáceo o café (Forero de La-Rota, 2014).
Marchitez bacteriana <i>Ralstonia solanacearum</i> (Smith).	Tallo y raíces  Figura 1.12 Planta de uchuva con marchitez unilateral ocasionada por <i>Ralstonia solanacearum</i>.	La planta manifiesta marchitez en un solo lado, y avanza por toda la planta hasta que la afecta completa y le causa la muerte (figura 1.12). En el interior de la planta el sistema vascular en el tercio inferior del tallo se ve de color oscuro y puede observarse una exudación Blanquesina(Saldarriaga & Zapata, 2002).
Mancha grasosa, mancha de aceite o mancha grasienta <i>Xanthomonas campestris</i>	Hojas y frutos  Figura 1.13 Mancha aceite, síntoma característica del ataque por <i>Xanthomonas campestris</i> en el capacho del fruto.	Presencia de lesiones cloróticas hasta lesiones de color castaño con apariencia aceitosa o engrasado (figura 1.13). En la fruta, se afecta el capacho con lesiones similares a las descritas en las hojas, pero no se afecta la parte comestible (Saldarriaga & Zapata, 2002; Zapata Pareja, 2011).
Fuente: Elaboración propia Fotos: Érika Patricia Martínez Lemus, Camilo Ernesto Sanabria Torres y David Rodríguez Puertas		



El manejo de las enfermedades descritas en la tabla 1.2 se basa principalmente en realizar buenas prácticas de cultivo; por ejemplo, distancias de siembra amplias, un sistema de tutorado que permita la apertura de ramas y que genere una buena aireación de las plantas; labores de poda apropiadas y a tiempo, especialmente una adecuada poda de formación, y realizar la poda sanitaria de forma periódica; recolección y retiro de desechos, material vegetal y frutos con síntomas de la enfermedad; empleo de una adecuada y balanceada fertilización, acorde a la fenología del cultivo y acompañada de la aplicación de microorganismos benéficos y el manejo manual o mecánico de arvenses, sin afectar la cobertura vegetal del lote (Fischer et al., 2014; Zapata et al., 2002).

La aplicación de fungicidas o bactericidas preventivos (tanto de síntesis química, como de origen biológico) puede hacerse si se presentan las condiciones climáticas que favorecen del desarrollo del patógeno (aumento de la precipitación y la humedad relativa en el ambiente) y curativas en caso de un alto porcentaje de infestación (Fischer et al., 2014). Sin embargo, la decisión de su uso debe ser asistida por un ingeniero agrónomo y verificar que los productos tengan registro ICA para el cultivo y el periodo de carencia.





Fotografía: Gabriel D. Roveda

Capítulo 2. Recomendaciones de establecimiento del cultivo

Érika Patricia Martínez Lemus, Fabián Enrique Martínez Camelo, Emerson Duván Rojas Zambrano, David Rodríguez Puertas, Juan Clímaco Hio

En este capítulo, se describen las prácticas que usan los productores de uchuva en Colombia para cada fase del cultivo. Se inicia con la selección del lote y del material de siembra obtenido a partir de un protocolo de propagación que asegure la sanidad del material vegetal y las características particulares de los diversos materiales de siembra. Una vez establecido el cultivo se instala el tutorado y se cuelgan las plantas para asegurar su óptimo desarrollo mediante prácticas que permitan el manejo integrado, como las podas, el control de arvenses, la fertilización, entre otras. Es importante el monitoreo constante del cultivo y, en lo posible, optar por la certificación en buenas prácticas agrícolas o las que exija el cliente, para aumentar las posibilidades de inserción de la cosecha en mercados internacionales y mantener la salud del suelo en la finca.

Selección y preparación del terreno

Con el objetivo de garantizar el éxito del cultivo y el retorno de la inversión, es necesario analizar las condiciones climáticas, topográficas, edáficas y sanitarias de la zona, las cuales garantizan el buen desarrollo del cultivo. Según Murcia Riaño et al. (2020), el análisis se debe centrar en variables de tipo climático, como distribución y frecuencia de las lluvias, intensidad del viento, y en variables topográficas como riesgo de erosión y encharcamiento, profundidad efectiva del suelo (45 cm ideal para el cultivo de uchuva) y análisis de las características físicas, químicas y biológicas. Para el establecimiento de cultivos de uchuva, es necesario seleccionar terrenos que no superen el 25 % de pendiente, y así facilitar el manejo y



la conservación del suelo. Si el suelo está muy desprovisto de vegetación, se deben tomar medidas de protección a través del establecimiento de coberturas vivas que no afecten el desarrollo del cultivo (Betancur et al., 2014).

Los suelos adecuados para este cultivo deben ser de estructura granular, textura franca, franco-arenosa o franco-arcillosa, sueltos y con buen drenaje, con un contenido de materia orgánica alto (>3 %) y con un pH entre 5,5 y 6,5 (Fischer et al., 2014). La compactación del suelo se debe identificar, ya que esta condición afecta negativamente la densidad aparente (DA), lo cual altera la estabilidad de agregados, el espacio poroso y la cantidad de materia orgánica presente en el suelo (Salamanca Jiménez & Khalajabadi, 2006).

Mediante el análisis químico de suelos es posible conocer el pH. Cuando los suelos son fuertemente ácidos, se debe corregir esto antes de la siembra, pues el cultivo requiere suelos con pH entre moderadamente ácido y neutro. La recomendación de aplicación de enmiendas siempre se debe hacer según el resultado del análisis de suelos (Betancur et al., 2014). Por ejemplo, si se tienen suelos con bajos contenidos de magnesio y ácidos, hay que aplicar una dosis entre 800 y 1.000 kg/ha de cal dolomita para llevar el pH a un valor entre 5,5 y 6,5. Esta labor se tiene que hacer mínimo 15 días antes, pero lo ideal es que sean 30 días (Angulo, 2000). Existen otras fuentes calcáreas como la cal agrícola y el yeso, fácilmente disponibles en los mercados de insumos agropecuarios en las regiones productoras del país. También es necesario tener total seguridad de antecedentes sanitarios del lote seleccionado, haciendo énfasis especial en la enfermedad conocida como marchitez vascular, causada por el patógeno *Fusarium oxysporum*, principal limitante del sistema productivo (Zapata et al., 2012).

Distancias de siembra, trazado y ahoyado

De acuerdo con las condiciones climáticas del sitio de siembra, la temperatura, la humedad relativa, el drenaje del lote y la fertilidad del suelo son las variables que se consideran para establecer una adecuada densidad de siembra, lo cual es determinante en la productividad del cultivo. Según lo reportado por Angulo (2011), las distancias de siembra comúnmente utilizadas en Colombia son de 2 x 2,5 metros, 2,5 x 2,5 metros o hasta de 3 x 3 metros. Así, se busca establecer las mayores distancias en los lugares de siembra con presencia de alta humedad, ya que esto favorece la aireación y, por ende, la sanidad del cultivo. Fischer y Miranda (2012), por efectos fitosanitarios y facilidad en las labores de cultivo, recomiendan distancias de 2 m entre plantas y de 3 m en surcos, para una densidad de 1.660 plantas/ha.

Las zonas donde se cultiva la uchuva generalmente no cuentan con una topografía homogénea; esta condición hace que las distancias de siembra aumenten con la pendiente y que la distribución de las plantas cambie en función de la pendiente para disminuir la erosión y aumentar la luminosidad en el cultivo. Betancur et al. (2014) proponen que en pendientes menores que el 25 % se haga el trazado en cuadro (figura 2.1) y que en pendientes por encima del 25 % se trace en triángulo o tresbolillo, y así aumentar el número de plantas por área en un 15 % y favorecer la erosión. Es muy importante que el trazado quede alineado, con el fin de facilitar el tutorado y las demás labores culturales (Betancur et al., 2014). En pendientes superiores al 25 %, se recomienda sembrar en contra de la pendiente para mitigar la erosión hídrica, que es común en las zonas de cultivo.



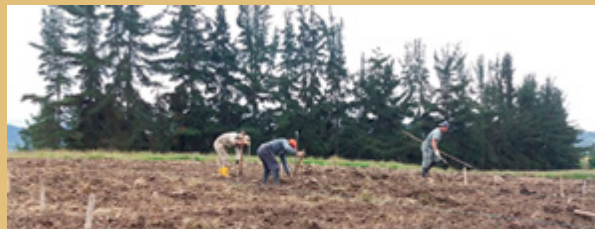


Figura 2.1. Trazado para siembra de uchuva, sistema de siembra en cuadro.

Foto: David Rodríguez Puertas

Después de preparar el suelo, sin importar la labor de preparación que se aplique, es necesario realizar la ahoyada 20-30 días antes de la siembra; asimismo, se recomienda hacer hoyos de 40 x 40 x 40 cm, independientemente de la distancia de siembra seleccionada (Betancur et al., 2014). La labor de ahoyado se puede hacer de manera mecánica (ahoyador mecánico) o manual (ahoyador manual) (figura 2.2).

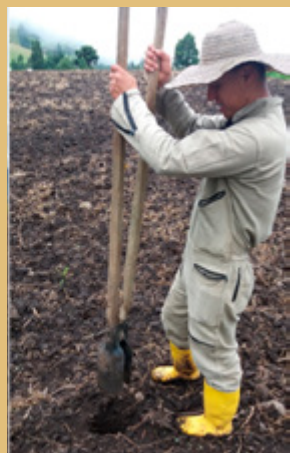


Figura 2.2. Ahoyado manual para sistema de siembra en cuadro. Densidad de siembra 2.000 plantas/ha.

Fotos: David Rodríguez Puertas

Siembra

El trasplante a sitio definitivo se realiza aproximadamente dos meses después de haber sembrado la semilla en etapa de vivero. Como sustrato se sugiere utilizar la mezcla de materia orgánica, turba canadiense y cascarillas de arroz en proporción (1:1:0,5), con aplicación de riego constante y, en lo posible, microorganismos

benéficos. Durante este tiempo, las plántulas pueden alcanzar una altura entre 15 y 25 cm, dependiendo del plan de fertilización y el manejo aplicado al semillero. Es importante aclimatar las plantas durante una a dos semanas bajo un umbráculo o polisombra, con el propósito de endurecerlas y evitar daños por la radiación solar directa y el frío (Betancur et al., 2014). Es fundamental que la siembra se realice en días lluviosos o por lo menos nublados, para que la plántula no se deshidrate fácilmente. Las plantas se deben poner con cuidado en el hoyo haciendo un pequeño montículo de tierra a su alrededor, con el objetivo de evitar encharcamiento. Después del trasplante hay que aplicar buen riego (50L/planta) para una mejor adaptación de las plántulas en campo. Asimismo, es sumamente importante monitorear la presencia de babosas (*Milax gagagtes*), problema limitante en la etapa de establecimiento, en especial en épocas húmedas y de alta precipitación (figura 2.3).

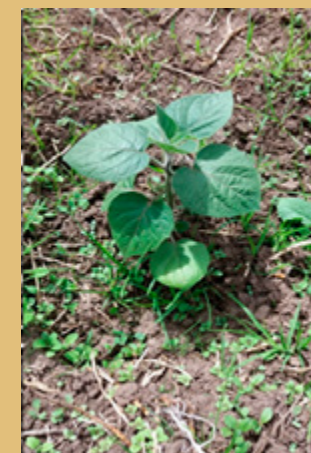


Figura 2.3. Siembra y desarrollo de plantas en campo. a. Planta recién sembrada con manejo de babosa; b. Planta de aproximadamente un mes de sembrada.

Fotos: David Rodríguez Puertas

Podas

Las podas se consideran labores importantes en cultivos de frutales; son intervenciones que se realizan durante el desarrollo fenológico de la planta (etapa de crecimiento, de posproducción y de producción) para mejorar su actividad fisiológica, desarrollo vegetativo, producción y calidad de la fruta. También



permiten reducir las poblaciones de plagas e incidencia de las enfermedades, y además contribuyen a la formación del árbol para facilitar su manejo y darle una condición de aireación y entrada de luz solar.

Tipos de podas

Tradicionalmente los productores de uchuva usan tres tipos de podas en las zonas de cultivo, estos son:

Poda de formación: consiste en seleccionar aquellas ramas más vigorosas y darles la estructura deseada. Para esto se recomienda seleccionar dos tallos vigorosos que formen una “V” en la copa de la planta. Las ramas seleccionadas deben colgarse en el tutorado para darles formación a las ramas. También se recomienda la poda abierta, que consiste en seleccionar cuatro ramas, amarrarlas y ubicarlas en el tutorado (figura 2.4).



Figura 2.4. Poda de formación en “V” realizada en plantas de uchuva.

Foto: Érika Patricia Martínez Lemus

Poda sanitaria o de limpieza: consiste en remover o retirar de las plantas los frutos secos, los frutos enfermos y todas las ramas secas, mal formadas e improductivas. Una práctica adicional a la poda sanitaria que hacen los productores es el deshoje,

y su propósito principal es eliminar las hojas senescentes que presenten altas cargas de patógenos. El deshoje permite que las plantas muy densas tengan una buena aireación. Cultivadores de uchuva de Cundinamarca y Boyacá, desde hace aproximadamente una década, han realizado esta práctica de deshoje en sus cultivos de uchuva. Los productores argumentan que el deshoje permite airear la planta y eliminar parte del inóculo residente en follaje maduro o senescente; de igual forma, evita que la planta tenga un desgaste energético y aproveche los nutrientes, y emita así follaje nuevo. Los beneficios de esto se ven reflejados en la fruta de mejor calidad, en el tamaño de los frutos, en los colores más vivos de los frutos y en el mayor rendimiento de las plantas.

Poda de renovación: conocida como soca. Se aplica en cultivos que estén terminando su ciclo productivo y que muestren poco vigor en las ramas. Esta práctica se realiza para obtener nuevos rebrotes y formar una copa nueva; sin embargo, no siempre se lleva a cabo, y el productor prefiere cambiar completamente el cultivo con plantas nuevas. Cuando se aplica esta poda al cultivo, se retiran todas las ramas que hayan cumplido su ciclo productivo y se despuntan las ramas con excesivo crecimiento para estimular el crecimiento y engrosamiento de ramas nuevas y laterales de la planta.

Se sugiere hacer estas podas cuando las plantas hayan terminado la producción, antes de que se inicie el rebrote de flujos nuevos (Casierra & Fischer, 2012). Algunos autores indican que la poda depende del tipo de tutorado que haya definido el agricultor en su predio. Por su parte, Fischer & Angulo (1999), y Miranda (2005) reportan que según la modificación realizada al tutorado para el manejo de la planta en “V” con dos ramas abiertas y con despuntes del tallo principal a la altura que sea más conveniente para el productor y según la condición de desarrollo de la planta y la característica del suelo, los suelos con mayor contenido de materia orgánica pueden generar más desarrollo de follaje de la planta. Por lo tanto, el manejo de los tutorados y las podas generan muchos beneficios, como la aplicación



eficiente de los agroinsumos por vía foliar, que mejora el microclima dentro del cultivo, permite hacer una recolección de frutos de manera más rápida, entre otras (Miranda, 2004).

Tutorado

Debido al hábito arbustivo de la uchuva, la aireación del cultivo, su apropiado manejo de prácticas agronómicas, la adecuada productividad y la buena calidad de fruta, el cultivo necesita el montaje de un sistema de apoyo o soporte denominado tutorado (Angulo, 2011), el cual consiste en un sistema de amarre y colgado de ramas, que evita que el follaje y los frutos entren en contacto directo con el suelo, y así evitar problemas fitosanitarios (Zuluaga Marín, 2014).

El tipo de tutorado adecuado para cada cultivo varía de acuerdo con la densidad de siembra planificada, la topografía del terreno, los componentes seleccionados, y con los costos de los materiales y de la mano de obra del montaje (Zapata P. et al., 2002).

En Colombia, se montaron diferentes tipos de soporte que pasaron por sistemas en “V” bajo, en “V” y en “T” (figura 2.5), hasta uno más sencillo que se emplea actualmente en la mayoría de las fincas, denominado “amarre a doble línea”, el cual consiste en amarrar las ramas laterales productivas por medio de hilaza a dos alambres galvanizados (calibre 12 o 14) distanciados por 1 m y ubicados a una altura de 1,8 m a 2,0 m (Fischer & Miranda, 2012). Los postes de soporte están puestos en los extremos de cada surco, seguidos de varas cada 3 o 4 m dentro de la hilera (Angulo, 2011). Es importante tener en cuenta que se deben colgar ramas a lo largo del cultivo, cuando se presente la formación y el crecimiento de nuevas ramas.



Figura 2.5. Sistema de tutorado en “T” para el establecimiento del cultivo de uchuva.

Foto: David Rodríguez Puertas

Riego

Pese a las ventajas productivas que otorga el riego en la agricultura, su implementación no se ha dado acorde con el potencial de Colombia y solo el 33,3% de las unidades de producción agropecuaria lo utilizan (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2016). El riego puede aumentar la productividad en promedio 2,2 veces más que en los cultivos que no lo utilizan y 3,3 si se combina con insumos óptimos en los momentos precisos de desarrollo del cultivo. A nivel mundial, la mayor limitante para la implementación del riego en los cultivos es el factor económico que supone la inversión inicial (Perfetti et al., 2019).

El cultivo de la uchuva en Colombia lo llevan a cabo principalmente pequeños productores de las zonas andinas del país, con una fuerte concentración del área cultivada en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Nariño, Norte de Santander, Antioquia, Cauca y Santander (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2019), por ubicarse principalmente en ecosistemas de bosque subandino en el interior de la frontera agropecuaria. El riego no es una práctica común en el cultivo, pero esto no quiere decir que no sea necesario para incrementar la productividad de los cultivos y la calidad de la fruta. De hecho, hoy en día la cadena exige modelos de producción sostenibles, que optimicen el consumo de agua, por lo cual se recomienda utilizar sistemas de riego por goteo. No obstante, aún no hay información precisa acerca de la cantidad de agua necesaria para



plantas de uchuva (*Physalis peruviana*) a campo abierto, pero sí se sabe que el riego depende de factores como la temperatura, la humedad relativa, el tipo de suelo y la fenología del cultivo. Álvarez-Herrera et al. (2021) encontraron que para un cultivo en invernadero (algo poco común en uchuva) el consumo promedio es de 6,5 litros de agua al día por planta, y que este aumenta en función de la temperatura. Además del uso eficiente del agua, se recomienda el manejo integrado del cultivo, la inocuidad y los procesos de poscosecha que aseguren la cadena de frío para mejorar la competitividad en los diferentes mercados y para que el fruto no se fissure (Flórez Martínez & Contreras, 2014; Flórez Martínez & Betancourt Vázquez, 2016; MADR, 2019).

Las características ecosistémicas de las áreas donde se desarrolla el cultivo de uchuva coinciden con lo señalado por Fisher et al. (2005) y Fischer et al. (2014); es decir, zonas entre los 1.800 y 2.800 m s. n. m., con temperaturas entre 13°C y 18°C, con alta humedad del 70 % al 80 % y, dado que el riego no es una práctica común, con balance hídrico anual favorable y precipitaciones distribuidas a lo largo del año. Además, los suelos de estas áreas generalmente son de texturas franco-arenosas o franco-arcillosas, con un pH entre 5,5 y 6,8, y buen drenaje. En las zonas productoras, la precipitación puede variar en algunos meses del año y es en ese momento cuando los productores se ven obligados a irrigar de cualquier manera el cultivo. Lo ideal es que se realice un balance hídrico, considerando la evapotranspiración y la precipitación; sin embargo, el uso de pluviómetros, evaporímetros y de la información climática disponible no es un aspecto común entre los productores (Campos, 2000).

Durante el periodo comprendido entre 2013 y 2017, investigadores del Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA desarrollaron un estudio en 114 fincas en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Antioquia y Nariño, con el fin de generar conocimientos específicos acerca de la asociación de factores del ambiente biofísico con la epidemiología del marchitamiento vascular y su agente causal en

zonas productoras, como base para el diseño de estrategias de prevención de la enfermedad. Estos investigadores encontraron que más del 80 % de las unidades productivas no cuenta con un sistema de riego y el 20 % restante tiene un sistema de almacenamiento de agua tipo reservorio que irriga por gravedad (Martínez et al., 2017).

Como se mencionó anteriormente, las diversas tecnologías de irrigación como la aspersión o por goteo no son comunes en las zonas donde se cultiva la uchuva (figuras 2.6 y 2.7), pese a que si estos se utilizan con mayor frecuencia la producción de fruta aumenta (Álvarez et al., 2015), debido a la oferta ambiental de las zonas subandinas del país, las cuales, según Rudas et al. (2007), tienen climas húmedos y superhúmedos que hacen prosperar prácticamente cualquier cultivo, a tal punto de que se conserva menos de un 10 % de las coberturas naturales. Esta situación, sumada a las exigencias de los mercados y las demandas de la cadena de la uchuva, hace imperioso avanzar hacia la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA), para mejorar la inocuidad y calidad de la fruta, y mantener en buen estado los servicios ecosistémicos de las zonas productoras (Páez Parra et al., 2012; Tamayo & Betancur, 2014; Marín et al., 2014). La producción de uchuva puede contribuir a la conservación del ambiente, a través de la adecuada gestión de los residuos sólidos y líquidos, y así incorporar prácticas de protección ambiental en el predio o en el cultivo, como la siembra de árboles nativos y la protección de cuerpos de agua (Tamayo & Betancur, 2014).





Figura 2.6. Sistema de riego por aspersión incorporado al tutorado en "T" para el establecimiento de un cultivo de uchuva en el Centro de Investigación Obonuco.

Foto: David Rodríguez Puertas



Figura 2.7. Sistema de aspersión por goteo para riego de plantas en un cultivo de uchuva en el Centro de Investigación Obonuco.

Foto: David Rodríguez Puertas

A medida que avanza la implementación de BPA en los predios, las prácticas de conservación de biodiversidad se pueden ir planificando y documentando de forma paralela al manejo integrado del cultivo; por ejemplo, se pueden ir enriqueciendo con material vegetal nativo las cercas, las rondas hídricas y las zonas que son consideradas improductivas por el productor. Otras prácticas que mejoran el desempeño ambiental de la finca son analizar la eficiencia energética y promover el uso de fuentes de energía renovable, reciclar aguas lluvia, gestionar de forma correcta las aguas residuales domésticas, mejorar la eficiencia en el uso del agua para el riego mediante la identificación de riesgos ambientales, fuentes y calidad del agua, contar con un sistema de almacenamiento de agua para las épocas de

baja precipitación, analizar la frecuencia y cantidad de agua utilizada para riego, en caso de que se tenga algún sistema implementado (Cardona et al., 2021).

El riego en el cultivo de uchuva no solo aumenta la productividad del cultivo, sino que además mejora su manejo integrado; por ejemplo, Martínez et al. (2017) demostraron que el cultivo es altamente sensible al estrés hídrico por déficit o exceso, y que a su vez el principal patógeno del cultivo, causante del marchitamiento vascular (*Fusarium Oxysporum* f. sp. *physali*), se adapta muy bien a estas condiciones, por lo cual se ve favorecida su permanencia en el suelo. Además, una alta humedad durante la época de cosecha puede deteriorar el fruto y si el encharcamiento del cultivo es prolongado es posible que se afecte de forma irreversible el sistema radicular de la planta (Acuña, 2010).

Arvenses

El término arvenses, también denominadas malezas, hace referencia a las plantas que suelen estar asociadas a efectos negativos sobre cultivos, ya que por su crecimiento deliberado compiten directamente por espacio, luz, agua y nutrientes con las plantas del cultivo, e indirectamente pueden incidir en la dinámica de insectos plaga y el desarrollo de enfermedades, lo cual afecta su desarrollo y disminuye la productividad y la calidad de las cosechas (Pinilla, 2002; Roschewitz et al., 2005). Sin embargo, si se seleccionan y se manejan, pueden contribuir a la cobertura y a la conservación del suelo (Blanco Valdés, 2016).

En 2012, AGROSAVIA desarrolló un estudio para la caracterización de arvenses posibles hospederas de Foph en el cultivo de uchuva en los diferentes sistemas de producción, en los municipios de Silvania y Granada (Cundinamarca), y Arcabuco (Boyacá). Teniendo en cuenta parámetros como cobertura, dominancia y frecuencia, se colectaron muestras de arvenses asociadas a plantas con síntomas de marchitamiento vascular y asintomáticas, tomando la planta completa desde



la raíz para análisis microbiológico, y el resto de la planta para la identificación, descripción fenológica y fisiológica de cada arvense según la escala BBCH. Se recolectaron también muestras de suelo de la rizosfera de cada arvense para análisis microbiológico (Martínez et al., 2012).

Durante este estudio, se visitaron 17 fincas de las zonas productoras, de las cuales se obtuvieron 209 muestras, entre arvenses, suelo y material vegetal de plantas de uchuva. Se identificaron 19 especies de arvenses, y de las más comunes asociadas al cultivo de uchuva se encontraron *Rumex crispus* (lengua de vaca) (figura 2.8a), *Polygonum nepalense* Meisn. (corazón herido) (figura 2.8b), *Rumex acetosella* (acederilla), *Pennisetum clandestinum* (kikuyo) (figura 2.8c), *Hypochoeris radicata* (diente de león), *Oxalis corniculata* (trébol). Estos resultados fueron similares a los reportados por Plaza y Pedraza (2007), en los cuales se encontró que las arvenses asociadas al cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) que se presentaron con más frecuencia en el departamento de Cundinamarca fueron *Polygonum nepalense* y *Rumex crispus*, y en el departamento de Boyacá, *Pennisetum clandestinum* y *P. nepalense*.

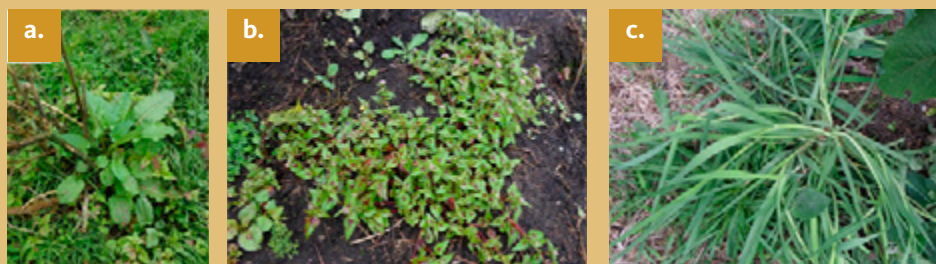


Figura 2.8. Principales arvenses asociadas a cultivos de uchuva. a. Predominancia de *Rumex crispus* (lengua de vaca); b. *Polygonum nepalense* Meisn. (corazón herido); c. *Pennisetum clandestinum* (kikuyo).

Foto: Érika Patricia Martínez Lemus

En cuanto a la incidencia de la enfermedad en la uchuva, no se determinó una relación directa, ya que en la rizosfera de las arvenses se hallaron bajas poblaciones de *Fusarium* spp. sin presentar sintomatología de enfermedad, más la asociación de otros microorganismos de naturaleza benéfica en el suelo como *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp. y *Trichoderma* spp. Teniendo en cuenta lo anterior, se deben ampliar los estudios considerando la presencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* asociada a los estados fenológicos del cultivo, a elementos del clima, entre otros.

Se pudo determinar que la presencia del patógeno en el lote del cultivo puede estar desempeñando funciones como hospederos alternos de Foph, por lo cual se recomienda manejar su presencia alrededor de las plantas de uchuva mediante plateo (un metro de diámetro alrededor de la planta), con la precaución de evitar daño mecánico a la base del tallo, ya que esto favorece la entrada de Foph; asimismo, es necesaria la limpieza y desinfección de la herramienta, lo cual se recomendada para eliminar no solo el patógeno, sino también residuos de suelo con semillas de arvenses. No se aconseja la erradicación total y el uso excesivo de herbicidas, ya que las arvenses contribuyen a la conservación del suelo, aportan materia orgánica, favorecen la fijación de nitrógeno, albergan enemigos naturales de plagas y hacen parte de la biodiversidad del sistema (Blanco-Valdés, 2016; Gliessman, 2002; Sánchez de Prager, 2018).





Fotografía: Gabriel D. Roveda

Capítulo 3. Marchitamiento vascular en el cultivo de la uchuva

Edwin Alirio Rodríguez Velásquez, Víctor Camilo Pulido Blanco,
Johan David Barbosa, Diana Marcela Burbano David, Alejandro
Caro Quintero, Andrés Alarcón, Julio Martín Duarte
Carvajalino, Carolina González Almario

El cultivo de uchuva en Colombia enfrenta limitantes que impactan de manera directa la sostenibilidad de la producción y la calidad de la fruta. Uno de los problemas más importantes está relacionado con la incidencia de la enfermedad marchitez vascular, causada por el hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph) (Simbaqueba et al., 2018). Las pérdidas reportadas por este patógeno oscilan entre el 80 % y el 100 %, particularmente en plantaciones comerciales de Cundinamarca y Boyacá (González Almario & Barrero Meneses, 2011).

El control de este patógeno en particular ha sido difícil, principalmente porque puede generar estructuras de resistencia llamadas clamidiosporas, las cuales le confieren la capacidad a Foph de permanecer latente en el suelo durante décadas, lo que imposibilita el uso de rotación de cultivos como mecanismo de control (Crinó et al., 2007).

Dentro de las prácticas culturales, la solarización ha sido utilizada con buenos resultados en algunos casos (Tamietti & Valentino 2006), pero es limitada por condiciones adversas de clima como temperatura y humedad relativa (Shlevin et al., 2004). Debido a las limitaciones en efectividad de los tratamientos químicos, físicos y de control biológico (Cotes et al., 2012), existe una gran necesidad de contar con los mejores métodos costo-efectivo y ambientalmente seguros para el control de la enfermedad. Dentro de las estrategias de manejo, el uso de la resistencia



genética ha mostrado ser promisorio (Enciso-Rodríguez et al., 2013; Núñez-Zarantes et al., 2014), pues el marchitamiento vascular de la uchuva está estrechamente ligado a la siembra de materiales genéticos susceptibles a esta enfermedad. Esa situación ha convertido el cultivo en plantaciones comerciales itinerantes, que se han movido desde Cundinamarca y Antioquia hacia Boyacá y Santanderes, lo que trae como consecuencia la contaminación de nuevos lotes con el patógeno debido a la distribución de material de siembra portador del hongo (González & Barrero, 2011; Osorio-Guarín et al., 2016). Por lo tanto, se hace imperativo para el cultivo de uchuva conocer de cerca al patógeno (variabilidad genética y patogénica) para seleccionar fuentes de resistencia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph) y métodos de control efectivos que permitan el manejo integrado de esta enfermedad.

Síntomas del marchitamiento vascular de la uchuva

La identificación en campo de plantas en estados avanzados de la enfermedad se puede realizar a partir de la presencia de los siguientes síntomas:

Síntomas externos: se observa una pérdida de turgencia y amarillamiento (clorosis) de las hojas basales que asciende y alcanza a las hojas más jóvenes, hasta que la planta se marchita y muere (Palma, 2004) (figura 3.1). En varias ocasiones, se presentan una o varias ramas que pueden mostrar síntomas, mientras que las del lado opuesto no.

Síntomas internos: se caracterizan por una coloración café del sistema radical y pudrición completa de la raíz principal, ocasionada por la infección del hongo. Los haces vasculares muestran necrosis que se puede evidenciar gracias a una coloración café-rojizo que se extiende por el tejido vascular no más de 10 cm desde la raíz (Palma, 2004) (figura 3.2).



Figura 3.1. Síntomas externos de la enfermedad. En estadios más avanzados de la enfermedad se puede observar pérdida de turgencia y clorosis en las hojas y marchitamiento en tallos.

Foto: Edwin Alirio Rodríguez Velásquez

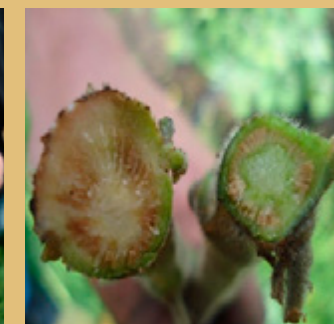


Figura 3.2. Síntomas internos de la enfermedad. Los haces vasculares están necrosados por la infección del hongo.

Foto: Edwin Alirio Rodríguez Velásquez

Fusarium oxysporum f. sp. *physali* (Foph)

Fusarium oxysporum es un complejo cosmopolita de especies fúngicas, que incluyen individuos fitopatógenos y no fitopatógenos (Di Pietro et al., 2003; Michielse et al., 2009; O'Donnell et al., 2010; Ma et al., 2013, 2014). Dentro de esta especie, existe un conjunto de cepas capaces de infectar un hospedero particular denominado forma *specialis* (f. sp.), causante del marchitamiento vascular en varias especies vegetales, incluyendo cultivos de importancia económica como banano, algodón, melón, tomate (Michielse et al., 2009) y recientemente uchuva (Simbaqueba et al., 2018).



Caracterización de *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph) agente causal del marchitamiento vascular de uchuva

Para el establecimiento de estrategias de control de enfermedades en plantas, se requiere no solo el conocimiento a nivel taxonómico y filogenético de los organismos causantes de la enfermedad, sino además del entendimiento sobre el origen de un patotipo o raza patogénica, así como de la distribución de los aislamientos que estén causando la enfermedad. Para esto, se necesita a menudo del uso de marcadores moleculares y de pruebas de patogenicidad con diferentes cultivares de la especie hospedera. Es por esta razón que en AGROSAVIA, desde 2008, se conformó una colección de 136 aislamientos de *Fusarium* asociados al cultivo de uchuva, la cual fue caracterizada a nivel morfológico, molecular y patogénico, con el fin de generar insumos para el diseño de estrategias de control eficientes y sostenibles para los productores de uchuva.

Caracterización morfológica de aislamientos de Foph de zonas productoras de uchuva del país

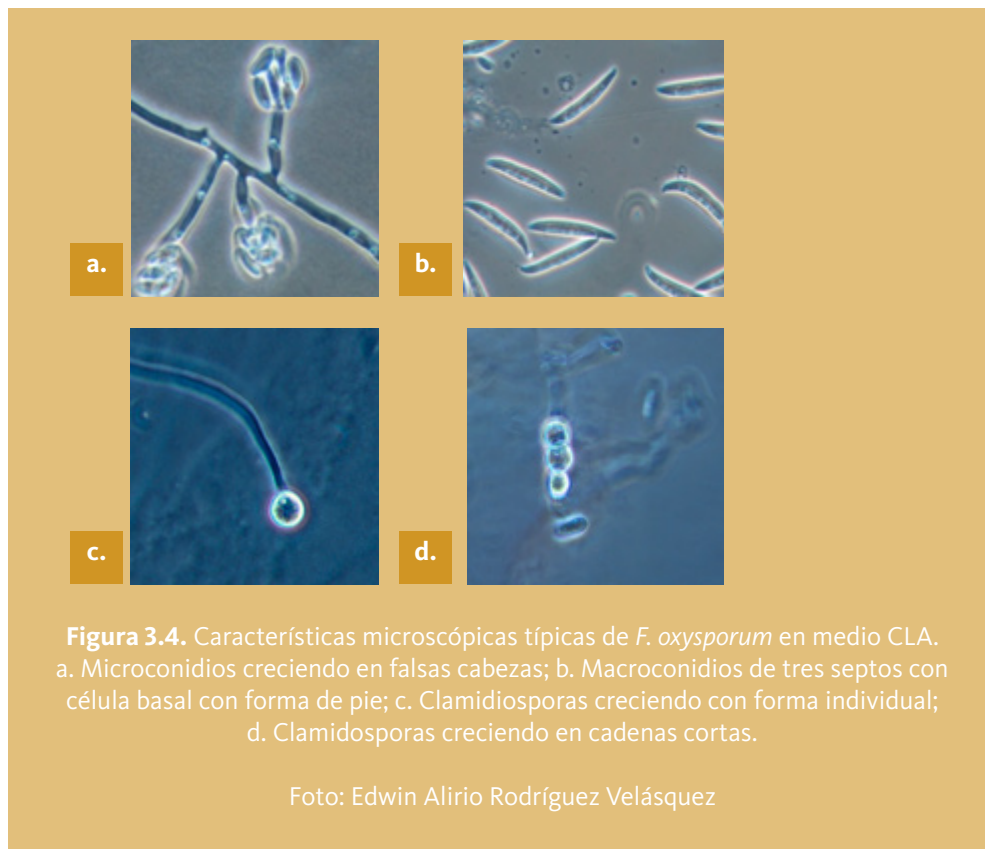
Las especies del género *Fusarium* son muy variables debido a las condiciones ambientales cambiantes a las que están sometidas para su crecimiento. Estos cambios afectan la morfología de sus macroconidios, los cuales son determinantes para su identificación taxonómica. Por lo tanto, para facilitar esta tarea, es necesario seguir todos los pasos de un procedimiento estandarizado (Nelson et al., 1983). Las especies de *Fusarium* solo se pueden identificar de manera confiable cuando los cultivos han crecido en condiciones óptimas de esporulación. Además, todas las colonias deben ser purificadas por cultivos monospóricos, ya que cada conidio es un genotipo individual y la colonia en desarrollo, salvo mutantes, es de un genotipo específico y es un clon que se logra identificar por sus características (Nelson et al., 1983). En general, es importante centrarse en rasgos como la forma y la estructura de los conidios (macro y microconidios), pues centrarse en los detalles puede

conducir a una identificación errónea por parte del investigador.

Considerando la amplia distribución de las especies del género *Fusarium* y su carácter cosmopolita, que llevan por lo general a aislar más de una especie en una misma muestra, se realizó una purificación de cada uno de los aislamientos obtenidos a partir de muestras infectadas en campo. Como se mencionó anteriormente, cada uno de estos aislamientos creció en medio de cultivo para observar características macro y microscópicas (agar papa dextrosa [PDA] y agar hoja clavel [CLA], respectivamente), necesarias para la identificación a nivel de especie mediante el uso de claves taxonómicas (Nelson et al., 1983).

En todos los aislamientos, se encontraron características morfológicas típicas de la especie *Fusarium oxysporum*: por ejemplo, la producción de pigmentos color violeta o salmón en medio de PDA (figura 3.3), producción de microconidios en estructuras llamadas “falsas cabezas” (figura 3.4a), macroconidios con células terminales con forma de pie (figura 3.4b) y producción de clamidiosporas creciendo de manera simple, en pareja o en clústeres (figuras 3.4c y 3.4d).





En uchuva existen varios factores que influyen en el desarrollo de la marchitez vascular; uno de ellos es el cultivar, el cual es de gran importancia, sin dejar de considerar los factores bióticos, abióticos, físicos y ambientales que favorecen el desarrollo de la enfermedad. A pesar de que la identificación morfológica es significativa para el desarrollo de cultivares resistentes, así como para el desarrollo de alternativas de control y de estrategias de manejo del cultivo, es conveniente determinar la diversidad patogénica y genética que existe dentro y entre las poblaciones de Foph.

Caracterización molecular de aislamientos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph) de zonas productoras de uchuva del país

Las cepas de Foph de la colección, además de haber sido caracterizadas morfológicamente macro y microscópicamente, fueron identificadas molecularmente utilizando marcadores moleculares a partir de cuatro regiones seleccionadas: IGS, EF-1 α , CO1, β -Tubulina; estas últimas, además de confirmar la identidad genética de los aislamientos, permitieron realizar una caracterización molecular usando la técnica PCR-RFLP. Esta técnica consiste en la amplificación de una región específica del ADN y su posterior fragmentación con una enzima de restricción, la cual permite obtener un patrón de bandas propio que se puede usar para caracterizar comunidades y poblaciones, evaluar diversidad y estimar la variación genética de poblaciones de fitopatógenos (Rodríguez & Rodríguez, 2008).

Esta técnica presenta ventajas frente a otras técnicas moleculares como RAPD y AFLP, ya que ayuda a obtener múltiples bandas a partir de la restricción de una región específica del genoma seleccionada por su nivel de conservación. Además, permite establecer perfiles moleculares, denominados haplotipos, propios de un grupo específico de aislamientos, que pueden estar asociados a características como virulencia, origen geográfico, entre otras, sin contar que es una técnica de fácil uso y también económica (Sandoval Lozano, 2010).

Con base en estudios realizados por Rodríguez Velásquez (2013), se seleccionó la región intergénica (IGS) del gen del ADN ribosomal para analizar, mediante PCR-RFLP, la variación dentro de las 136 cepas de Foph, representativas de las principales zonas productoras del país. La región amplificada fue cortada con la enzima de restricción Alu I, la cual fue la más informativa, ya que permitió evidenciar cinco haplotipos diferentes basados en la presencia o ausencia de fragmentos de restricción (figura 3.5). El análisis de diversidad UPGMA, utilizando el índice de Dice y un 93 % de similitud, evidenció también cinco grupos, lo cual demostró que



existe alguna diferencia entre y dentro de los aislamientos del patógeno, y que no hay relación entre el origen geográfico de las cepas y su patrón molecular (haplotipo) (figura 3.6). Algunas cepas están aisladas de los grupos generados por el análisis de filogenia; no obstante, se consideran un haplotipo diferente por su marcada diferencia en el patrón de bandas que presenta. Si se realizara un muestreo más amplio en la zona de procedencia de estos aislamientos, probablemente se encontrarían más individuos con el mismo haplotipo.



Figura 3.5. Cinco haplotipos determinados a partir de análisis PCR-RFLP. PCR-RFLP obtenido de la restricción con la enzima *AluI* de la región IGS de 136 cepas que conforman la colección de Foph. Cada patrón (haplotipo) se representa con una caja de color (rojo, amarillo, verde, azul y violeta). 1Kb: Marcador de peso molecular (1000 pb).

Foto: Edwin Alirio Rodríguez Velásquez

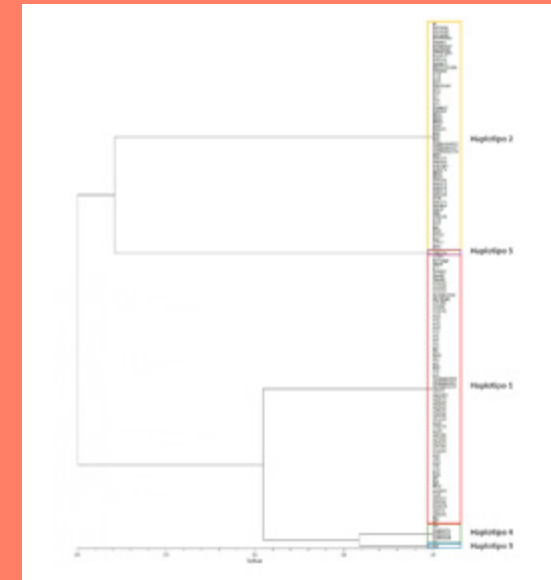


Figura 3.6. Análisis de clúster UPGMA. Clúster obtenido del corte de la región IGS con la enzima de restricción *AluI* en 136 cepas que conforman la colección de Foph, utilizando el índice de Dice y un coeficiente de similitud del 93%.

Fuente: Elaboración propia

Otra metodología que se usa bastante para la caracterización poblacional de microorganismos es multilocus sequence typing (MLST), la cual distingue grupos clonales basándose en la identificación de polimorfismos presentes en múltiples genes. Usualmente se utilizan de seis a ocho genes independientes que se seleccionan a partir de diferentes criterios como: presentar una única copia por genoma, tener alto poder de resolución (suficientes substituciones), estabilidad evolutiva (“housekeeping genes”) y baja tasa de transferencia horizontal (Maiden et al., 1998). Para la implementación de la técnica de MLST, se diseña un set de primers por gen, que amplifican fragmentos de aproximadamente 400 a 500 pb, los cuales se secuencian y se comparan para determinar las relaciones evolutivas de cada aislamiento.

La técnica de MLST se ha utilizado exitosamente en la caracterización de levaduras y mohos como *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus* y *Fusarium solani* (Saghrouni et al., 2013; De Valk et al., 2009; Debourgogne et al., 2010). Para el caso de



Fusarium oxysporum, actualmente no se cuenta con un esquema exitoso de MLST, lo cual implica buscar una aproximación sistemática para la selección de genes, que permita dar un soporte más robusto de las relaciones filogenéticas entre los aislamientos.

La disponibilidad de genomas completos de *F. oxysporum* secuenciados por el Instituto Broad (<http://www.broadinstitute.org/>), así como la secuenciación de una cepa patogénica (Map5) de uchuva a través de proyectos de investigación realizados por AGROSAVIA en 2016 (Simbaqueba et al., 2021), permitieron la búsqueda sistemática de marcadores para el desarrollo de un sistema MLST para este patógeno. Para ello, se identificó la fracción compartida por todos los genomas y a partir de esta se identificaron los genes ortólogos. Estos genes son ideales para el diseño de primers, pues representan genes heredados de un ancestro común y no representan duplicaciones (parálogos) o adquisiciones por transferencia horizontal de genes (xenólogos).

Con el grupo de genes identificados, se determinó la relación filogenética de las especies (Konstantinidis et al., 2006) a partir de datos genómicos de los 13 genomas y se diseñaron primers para determinar su nivel polimórfico de acuerdo con la metodología sugerida por Caro-Quintero & Ochman (2015).

A partir de los resultados conseguidos, fue posible amplificar dos marcadores (EF-1 α y rpb2) con los cuales se logró identificar tres clústeres vs. cinco encontrados por PCR-RFLP, y se discriminaron cepas en otros clústeres que no habían podido ser visibles por PCR-RFLP. Igualmente, se evidenció una alta correspondencia entre los patrones de ambas técnicas. El 71% de las cepas evaluadas de la colección de *F. oxysporum* se organizaron en grupos compuestos por los mismos aislamientos obtenidos por ambas metodologías (RFLP y MLST). Sin embargo, 29% de las cepas presentó un agrupamiento distinto al esperado basado en la información de haplotipos que obtuvo PCR-RFLP.

Con la secuencia del genoma de Foph (Simbaqueba et al., 2021) se contempló el uso de otros marcadores específicos para la especie, asociados no solo a genes ortólogos para estudios de diversidad e identificación de grupos clonales, sino también a genes que codifican para factores de virulencia propios de la especie patógena de uchuva. Esta información es fundamental para complementar los estudios de diversidad y entender los mecanismos de patogenicidad, claves para la búsqueda y selección de materiales genéticos de uchuva resistentes a este patógeno.

Caracterización patogénica de aislamientos de Foph de zonas productoras de uchuva del país

Hablar de estudios de diversidad de Foph no solo hace referencia a estudios a nivel genético, sino también a nivel de su patogenicidad, pues este último permite caracterizar las cepas del hongo que son patogénicas a cultivares específicos. Para ello, es necesario medir la respuesta de diferentes materiales frente a distintas cepas del patógeno, con el fin de evaluar de manera adecuada la presencia de grupos de virulencia o razas.

La caracterización patogénica de la colección de cepas de Foph conformada por 136 aislamientos de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Antioquia se determinó inicialmente sobre accesiones o materiales genéticos de uchuva seleccionados a partir de estudios previos que se hicieron sobre 104 genotipos identificados en repositorios internacionales y que cumplían con datos de pasaporte completos, amplia distribución geográfica, caracterizaciones morfoagronómicas, análisis fisicoquímicos, grados Brix $\geq 15^\circ$, peso de fruto $\geq 3g$, entre otras (Osorio Guarín, 2014).

Para la evaluación en invernadero, se estandarizó la preparación de inóculo de acuerdo con la metodología descrita por Namiki et al. (1994); también la



concentración ideal de Foph (Pulido Blanco, 2010) y el método de inoculación. Se evaluaron dos métodos, uno de ellos por inmersión de raíces de plántulas de uchuva en una suspensión de 1×10^5 conidios/ml de Foph (Pulido Blanco, 2010; Rodríguez Velásquez, 2010) y otro método de inoculación aplicando una concentración de inóculo de Foph de 1×10^6 conidios/ml durante la preparación del sustrato (Rodríguez Velásquez, 2013). A pesar de que los dos métodos son muy eficientes en términos de reproducibilidad, se seleccionó el método de inoculación durante la preparación del sustrato de siembra, el cual facilitó la evaluación de las cepas en varios genotipos de uchuva de manera simultánea (figura 3.7).

a.



b.



c.



Figura 3.7. Inoculación con Foph. a. Incremento del inóculo de Foph hasta 1×10^6 conidios/ml en medio líquido de potato dextrose broth (PDB) por ocho días a 28°C en agitación constante; b. Inoculación del sustrato (suelo, cascarilla y turba) (3:1:1) 100ml de inóculo/900g sustrato; c. Siembra de material vegetal de uchuva proveniente de semilla o *in vitro*.

Fotos: Edwin Alirio Rodríguez Velásquez

Después de seleccionar el método de inoculación, se estandarizó una escala de evaluación de síntomas de la enfermedad, inicialmente conformada por nueve niveles (Rodríguez Velásquez, 2010; Pulido Blanco, 2010; Enciso-Rodríguez et al., 2013, Rodríguez Velásquez, 2013) y posteriormente ajustada por Barbosa (2013) a cinco niveles, los cuales se describen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Escala cualitativa de evaluación de síntomas del marchitamiento vascular en invernadero

Nivel	SINTOMA	IMAGEN
0	Ningún síntoma visible, 0% de daño en la planta.	
1	Clorosis leve, hojas de verde oscuro a verde claro o hasta amarillo, entre las nervaduras o desde los extremos hacia el centro. Leve pérdida de turgencia no mayor que el 10% de daño en la planta.	
2	Pérdida de turgencia en hojas del tercio superior y presencia de clorosis en hojas basales o sin ella. Daño de >10% a <30% de la planta.	
3	Pérdida de turgencia en un 90%, con clorosis en las hojas basales o ausencia de ella. Daño de >30% a <90%.	
4	Pérdida de turgencia en un 100% y encopamiento de las hojas. Presencia de clorosis o ausencia de ella y defoliación. Daño de >90% a <100%.	
5	Pérdida de turgencia en un 100% y postración del tallo, hasta la muerte de la planta. Daño 100%.	

Fuente: Johan David Barbosa
Fotos: Johan David Barbosa



La escala de evaluación de síntomas permitió identificar, para la colección de cepas de Foph, cuatro niveles de virulencia (hipovirulento, medianamente virulento, virulento y altamente virulento) (figura 3.8), los cuales permitieron sugerir la respuesta fenotípica en planta (tabla 3.2).



Tabla 3.2. Asociación del nivel de severidad, nivel de virulencia de las cepas y respuestafenotípica en plantas bajo condiciones controladas.

Nivel en la escala de severidad	Nivel de virulencia	Respuesta Fenotípica en planta
0	No patogénico	Resistente (R)
1-2	Hipovirulento	Resistente (R)
3	Medianamente virulento	Moderadamente Resistente (MR)
4	Virulento	Moderadamente Resistente (MR)
5	Altamente virulento	Susceptible (S)

Fuente: Elaboración propia

Selección de genotipos promisorios de uchuva a partir de la caracterización patogénica de *Fusarium oxysporum* F.Sp. *physali* (Foph)

Teniendo en cuenta la escala de evaluación de síntomas y el proceso estandarizado de inoculación del patógeno, se realizó la evaluación de virulencia de la colección de cepas de Foph sobre un grupo seleccionado de genotipos de uchuva (09U128, 09U140 y 09U190), que se identificaron con anterioridad como tolerantes a la cepa altamente virulenta Map5 del patógeno, bajo condiciones de invernadero (Rodríguez et al., 2015).

Con base en los resultados que se consiguieron, se confirmó, por análisis de varianza y por comparación de medias mediante una prueba de Tukey, la susceptibilidad y el nivel de resistencia de estos tres materiales frente a las cepas de la colección, y se destacaron las accesiones 09U140 y 09U190 como tolerantes a este patógeno. De igual forma, se estimó la severidad utilizando la escala diseñada para este patosistema (tabla 3.1) y se realizó el análisis de los datos mediante una prueba de conglomerados, empleando el software SAS (v.9.0) sobre esta variable. Este análisis permitió identificar los cuatro niveles de virulencia con que se clasificaron las cepas de acuerdo con el nivel de virulencia en los distintos materiales de uchuva evaluados (figuras 3.9 y 3.10).



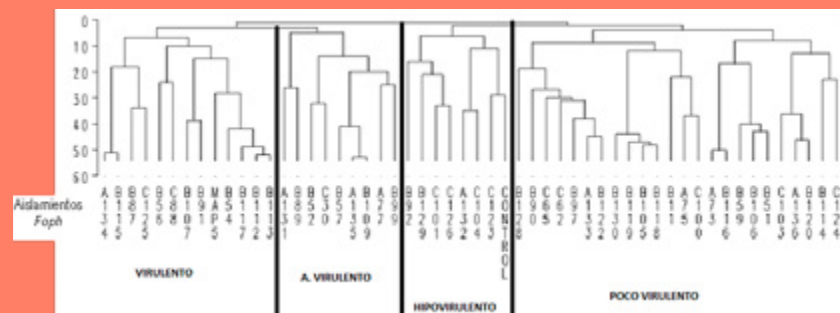


Figura 3.9. Grupos de virulencia de Foph determinados sobre la accesión 09U140 de *P. peruviana* a partir de análisis de conglomerados.

Fuente: Elaboración propia

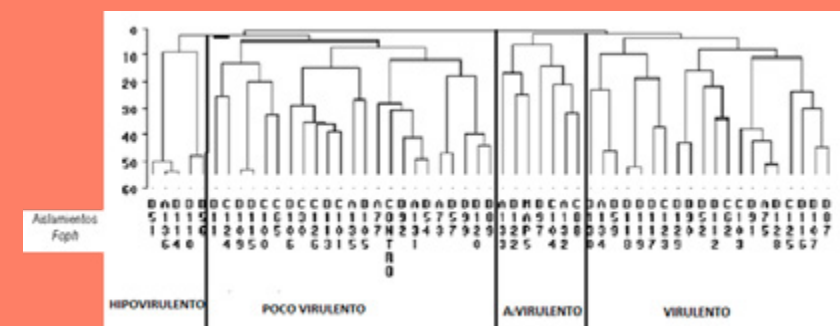


Figura 3.10. Grupos de virulencia de Foph determinados sobre la accesión 09U190 de *P. peruviana* a partir de análisis de conglomerados.

Fuente: Elaboración propia

Estos niveles de virulencia se pudieron asociar con la respuesta fenotípica de los materiales frente a las cepas y, a su vez, con el nivel de severidad descrito en la escala (tabla 3.2). Esta información es clave no solo como insumo para estudios de diversidad del patógeno, sino también para la búsqueda de fuentes de resistencia.

De igual manera, los datos obtenidos en invernadero y el análisis de conglomerados confirmó, por medio del cálculo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC), la respuesta de los tres genotipos de uchuva frente a las cepas evaluadas (figura 3.11). Este cálculo confirmó que a mayores valores de AUDPC, mayor es la

susceptibilidad de estos materiales frente a las cepas evaluadas y, por tanto, se presenta un mayor progreso de la enfermedad en el tiempo, así lo demuestran Osorio Guarín (2014) y Osorio-Guarín et al. (2016) en sus estudios con el patosistema uchuva-*Fusarium*. Es así como el progreso de la enfermedad fue más rápido en la accesión 09U128, comparado con el progreso que se observó en las accesiones 09U140 y 09U190 (figura 3.11). Esto confirma un alto nivel de tolerancia por parte de la accesión 09U190 y una alta susceptibilidad de la accesión 09U128.

Índice de AUDPC

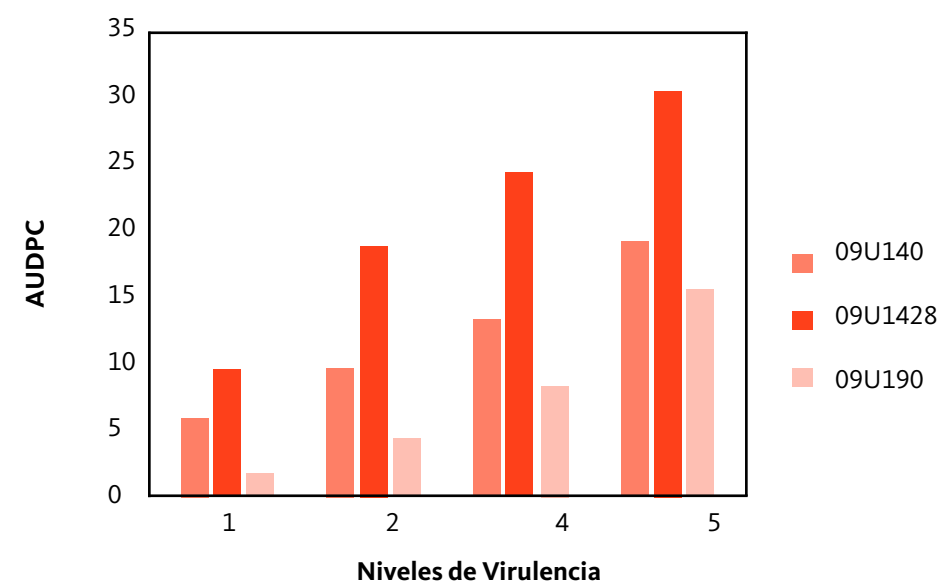


Figura 3.11. Índices de AUDPC para los tres genotipos de uchuva evaluados frente a las cepas de Foph agrupadas de acuerdo con el nivel de virulencia.

Fuente: Elaboración propia



El análisis del nivel de virulencia obtenido para cada una de las cepas de Foph frente a los tres genotipos de uchuva evaluados evidencia la conformación de 43 grupos, los cuales no se relacionan con su lugar de origen ni tampoco con su haplotipo molecular (PCR-RFLP y MLST). Estos resultados demuestran que, además de existir una alta variabilidad patogénica de las cepas que conforman la colección, las accesiones de uchuva evaluadas responden de manera diferente a cada una de ellas (Nirmaladevi et al., 2016; Chehri et al., 2014).

La respuesta de resistencia en planta está íntimamente relacionada con el nivel de virulencia de las cepas, lo cual se confirma en este estudio. Así, los aislamientos virulentos y altamente virulentos indujeron a un fenotipo susceptible en la planta y los hipovirulentos y moderadamente virulentos, a un fenotipo resistente. De estos resultados es importante destacar la presencia de un grupo de virulencia conformado por cepas que se comportaron como hipovirulentas frente a los tres genotipos evaluados. Esta información es importante para profundizar en la presencia o ausencia de genes efectores o factores de virulencia en estas cepas, que pueden interactuar con genes específicos de respuesta de defensa en la planta. La secuencia del genoma de la cepa Map5 (Simbaqueba et al., 2021) podrá servir de referencia para la identificación de estos genes del patógeno y para estudios de interacción y función.

Un aspecto importante para resaltar, según los resultados que se encontraron, está relacionado con el origen de los aislamientos y su dispersión; es el caso, por ejemplo, de algunas cepas que para 2008 fueron aisladas de cultivos de uchuva en zonas altamente productoras de Boyacá que ya no existen por causa de este patógeno (caso Arcabuco) y que, teniendo en cuenta los análisis de virulencia, el grupo patogénico, la haplotipo RFLP y el grupo MLST, los encontramos a 2015 en otras zonas distantes de este departamento, como lo es Ciénega. Estos resultados permiten inferir que posiblemente hubo un traslado de material vegetal infectado desde Arcabuco hasta Ciénega, que facilitó la dispersión del patógeno.

Para el caso de Antioquia, los aislamientos colectados en este departamento no se asocian a un mismo grupo patogénico; por el contrario, siempre están asociados a grupos patogénicos de Boyacá, lo cual indica una presunta movilidad del patógeno entre Boyacá y Antioquia. Esto concuerda con la movilidad que ha tenido el cultivo durante los últimos diez años, puesto que los inicios de este sistema productivo se centraron en Cundinamarca y debido al marchitamiento vascular su producción se trasladó a Boyacá, y posteriormente a Antioquia.

Escala cuantitativa estandarizada por fenotipificación para evaluación de la respuesta de *P. peruviana* a *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph)

Las técnicas tradicionales de fenotipificación en plantas se basan principalmente en evaluaciones subjetivas utilizando la cuantificación visual de las características fenotípicas. Este procedimiento limita la reproducibilidad de las evaluaciones del fenotipo y puede introducir ruido en los programas de mejoramiento genético. Una alternativa para obtener información fenotípica más fiable es la incorporación de tecnologías, como imágenes hiperespectrales, robótica y sensores remotos, que han sido utilizadas con éxito en otras áreas. La incorporación de dichas tecnologías permitirá conseguir información fenotípica más precisa para eliminar las falsas asociaciones relacionadas con la integración de genotipo-fenotipo mediante estudios de genómica, como asociación genética (GWAS) y la selección genómica (GS).

A pesar de que hay esfuerzos para desarrollar plataformas de fenotipificación de alto rendimiento que son capaces de capturar la información fenotípica de cultivos con mayor precisión y rapidez, la adopción de estas tecnologías por parte de los investigadores es escasa, debido a los altos costos asociados para el desarrollo de estas plataformas y para la contratación de servicios de fenotipificación a través de empresas que ofrecen estos servicios. Además, la configuración, el ajuste y el mantenimiento de plataformas de fenotipificación no son triviales y requieren un trabajo multidisciplinario. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de un nuevo



conjunto de plataformas que, además de tener un bajo costo, se puedan configurar fácilmente sin reducir la precisión y fiabilidad.

Para el caso del patosistema uchuva-*Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph), se han logrado rasgos fenotípicos utilizando una escala cualitativa de evaluación de síntomas del marchitamiento vascular en invernadero (tabla 3.1), la cual ha permitido asociar algunos marcadores ligados a la resistencia a Foph (Osorio-Guarín et al., 2016); sin embargo, esta escala es subjetiva y depende de la inspección visual realizada por un evaluador. En este contexto, surge la necesidad de evaluar el fenotipo de genotipos de uchuva afectados por Foph a través de una escala cuantitativa con mayor precisión, utilizando tecnologías de última generación que permitan un fenotipado más eficiente y robusto. Para ello, se creó una escala cuantitativa que permite evaluar de manera más precisa el progreso de la enfermedad causada por el hongo, usando una plataforma de fenotipado de bajo costo en invernadero. La plataforma desarrollada monitorea los cambios de dosel de las plantas a través del tiempo para evaluar la pérdida de turgencia en sus hojas, que es una de las principales manifestaciones de la enfermedad; además, tiene un bajo costo y una fácil configuración que permite su amplia adopción.

El sistema que se propuso está compuesto por un trípode, una cámara NIR S110 y un ordenador portátil con el software Anaconda 4.0.0, que incluye varios paquetes de código abierto como Spyder, el cual es un entorno de desarrollo para el lenguaje de programación Python. El trípode se utilizó para sujetar la cámara, con el fin de reducir el movimiento de esta y mejorar la calidad de la imagen. La cámara apuntó hacia abajo para capturar imágenes desde el dosel de las plantas a 1,5 metros, con una resolución espacial de hasta 4.000 x 3.000 píxeles (~14MB) e información en el espectro infrarrojo (NIR), verde y azul. La captura de la imagen se realiza desde una vista superior y en diferentes instantes de tiempo para controlar el progreso de la enfermedad causada por el hongo.

Para analizar las imágenes y medir la gravedad de la enfermedad de la planta, se desarrolló un *script* en Python que procesa automáticamente el flujo de imágenes. El programa de software detecta el porcentaje de píxeles ocupado por la planta dentro de la imagen. Este parámetro se utiliza para determinar qué tan enferma está la planta debido a cambios de dosel.

La figura 3.12 muestra los gráficos del área ocupada de forma normalizada para un número de 16 plantas. En todas las plantas que se analizaron, sus áreas de dosel presentan un comportamiento inicial de crecimiento hasta alcanzar un valor máximo; luego, como manifestación de la enfermedad, las áreas de dosel empezaron a disminuir. Se observaron diferentes formas entre los gráficos que pueden estar relacionados con las plantas que son más o menos tolerantes a la enfermedad. Por ejemplo, la figura 3.12c muestra que después de la manifestación de la enfermedad en la planta (cuarta muestra) su progreso era muy agresivo y la planta se marchitó muy rápido. Hubo resultados similares en las plantas correspondientes a las figuras 3.13f, 3.13h, 3.13o y 3.13p. Al contrario, para las plantas representadas por las figuras 3.12a, 3.12d, 3.12e, 3.12j, 3.12k y 3.12n la enfermedad progresó lentamente.

Con el fin de facilitar el proceso de selección de materiales tolerantes, la información que se presenta en la figura 3.12 se transforma mediante una interpolación lineal y luego se representa como gráficos de barras (figura 3.13). La altura de las barras se correlaciona con el nivel de enfermedad de las plantas y con cuánta área de dosel han perdido (pérdida de turgencia). Es decir, cuanto mayor sea la barra, más enferma se encuentra la planta. Además, se muestran las etapas de las plantas en diferentes instantes para determinar su comportamiento en el tiempo.



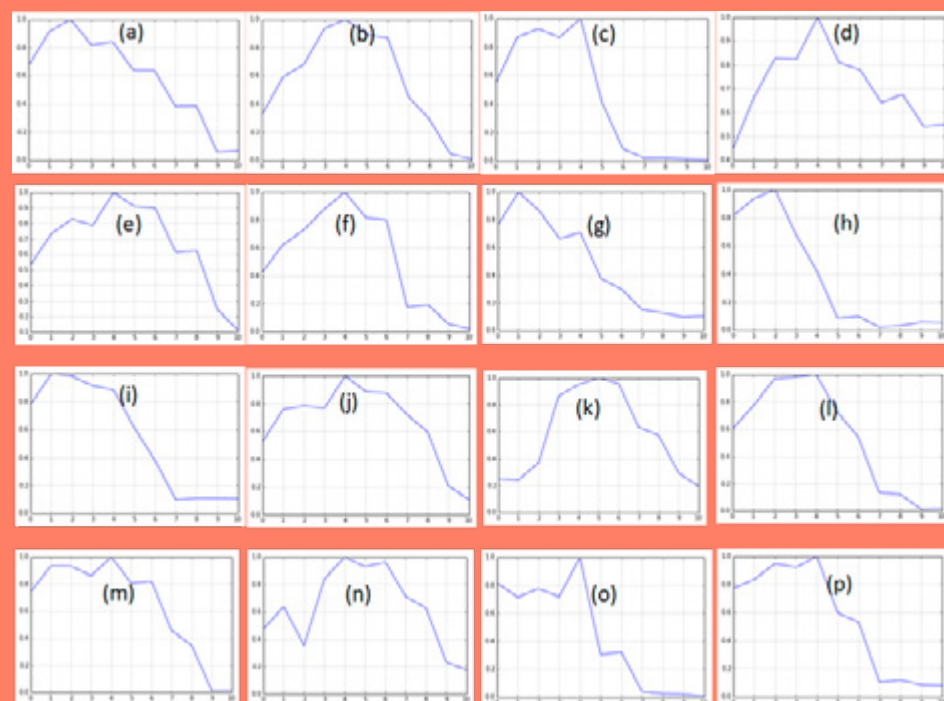


Figura 3.12. Escala de severidad cuantitativa obtenida para 16 plantas de uchuva afectadas por Foph. Las barras toman valores que van desde 0 hasta 5, se le asigna un valor de 0 al momento actual y anterior al que la planta alcanzó su máxima superficie de dosel.

Fuente: Elaboración propia

Si se analizan las gráficas se puede establecer que las plantas que tuvieron un mejor comportamiento son las que están representadas por las figuras 3.13d, 3.13e, 3.13j, 3.13k y 3.13n. Por el contrario, las plantas que se muestran en las figuras 3.13c, 3.13g, 3.13i y 3.13 h tuvieron el peor rendimiento.

Por último, para cada planta se calculó el área bajo la curva a partir de los valores de escala que se obtuvieron a través del tiempo en el diagrama de barras. Este valor de área es el resultado final que caracteriza a la planta y que permite comparar su rendimiento con las otras plantas en términos de resistencia a la enfermedad.

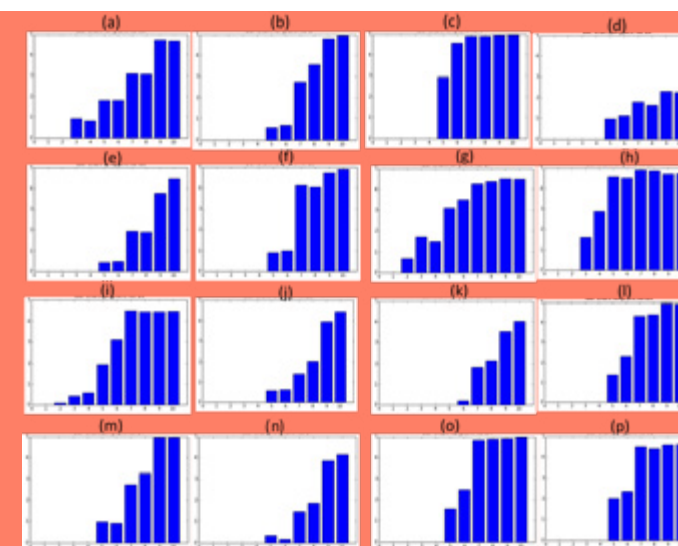


Figura 3.13. Escala de severidad cuantitativa obtenida para 16 plantas de uchuva afectadas por Foph. Las barras toman valores que van desde 0 hasta 5, se le asigna un valor de 0 al momento actual y anterior al que la planta alcanzó su máxima superficie de dosel.

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.3 muestra en una manera decreciente los valores de área de la escala cuantitativa obtenida para las plantas que se analizaron en la figura 3.13. Estos valores corroboran el análisis anterior, del cual se concluyó que las plantas marcadas como d, k, n, e y j presentaron los mejores resultados, mientras que las plantas i, c, g y h fueron más susceptibles a la enfermedad.



Tabla 3.3. Valores de área bajo la curva de la escala cuantitativa obtenida para las plantas analizadas

Planta	D	K	N	E	J	B	m	F
Valor	8.89	9.72	9.75	10.73	10.82	14.78	15.26	17.26

Planta	A	I	P	O	I	C	G	h
Valor	18.54	19.78	20.15	21.12	21.78	24.72	25.81	31.22

Fuente: Elaboración propia



Fotografía: Gabriel D. Roveda





Fotografía: Gabriel D. Roveda

Capítulo 4. Nutrición integrada del cultivo de la uchuva

*María Margarita Ramírez Gómez, Diana Paola Serralde Ordóñez,
Andrea María Peñaranda Rolón, Wilmar Alexander Wilches Ortiz*

Uno de los principales problemas que enfrenta el cultivo de la uchuva a nivel nacional, así como otros cultivos de interés agrícola, son los desbalances de nutrientes del suelo y las consecuencias que esto trae en la nutrición vegetal. En la mayoría de los casos, los planes de fertilización no responden adecuadamente a las condiciones del suelo y a los requerimientos del cultivo. Las malas prácticas de fertilización producen un agotamiento del suelo, lo que genera desbalances naturales y áreas poco fértiles y productivas. Para contrarrestar el efecto que producen estas malas prácticas, la fertilización integrada se convierte en una alternativa que permite un adecuado manejo del suelo, una reducción de los costos de fertilizantes y mejores rendimientos en producción y calidad. En este sentido, la fertilización biológica con microorganismos benéficos permite la sustitución parcial de fertilizantes químicos de síntesis, incrementar los rendimientos y alcanzar niveles adecuados de inocuidad del producto, especialmente en lo relacionado con la residualidad producida por el uso indiscriminado de fertilizantes químicos, que afectan la calidad e inocuidad del fruto.

Durante más de una década la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) ha hecho grandes esfuerzos en la evaluación del uso de microorganismos benéficos en el cultivo de la uchuva, lo que ha permitido brindar recomendaciones de uso de biofertilizantes a nivel de vivero y campo, así como prácticas de fertilización más eficientes y sostenibles que permiten el incremento en la competitividad del cultivo de la uchuva. Para esto, se inició con un diagnóstico de la fertilidad de los suelos asociados a zonas productoras de uchuva en dos municipios del departamento de Cundinamarca (Granada y Silvania) y uno



de Boyacá (Arcabuco), cuyos resultados evidencian un desbalance en los nutrientes del suelo, que afecta de forma directa e indirecta la competitividad y sostenibilidad del cultivo. En este capítulo, se abordan dos grandes temáticas, una relacionada con el diagnóstico de la fertilidad de los suelos asociados al cultivo de la uchuva y otra con el uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en vivero y campo, y su aporte a la nutrición del cultivo.

Diagnóstico de la fertilidad de suelos asociados al cultivo de la uchuva

La nutrición vegetal es determinante para obtener buenos rendimientos y productos inocuos; sin embargo, son pocas las estrategias que tienen en cuenta todos los aspectos ecosistémicos que están involucrados directa e indirectamente en la nutrición de los cultivos. Una adecuada estrategia de fertilización puede garantizar niveles óptimos de producción y además contribuye de manera significativa a la sostenibilidad de los suelos y cultivos. Para esto, es indispensable tener en cuenta factores como la oferta climática y edáfica, los requerimientos del cultivo y los materiales vegetales (variedades, ecotipos, etcétera). Cuando se hace una explotación agrícola sin tener en cuenta la disponibilidad y reposición de nutrientes, se genera a corto, mediano y largo plazo una degradación del suelo que compromete la sostenibilidad del cultivo. Por esto, tener un panorama completo de las condiciones edáficas para generar recomendaciones específicas para las diferentes zonas productivas, partiendo de un diagnóstico adecuado de las propiedades químicas, físicas y biológica del suelo, es indispensable para obtener productos competitivos y cultivos sostenibles.

La caracterización de suelos asociados al cultivo de la uchuva que llevó a cabo AGROSAVIA consistió en un muestreo exhaustivo de suelos en zonas productoras de uchuva. Se tomaron alrededor de 45 muestras en dos de los departamentos de mayor producción de uchuva: Cundinamarca y Boyacá. Asimismo, se realizó la caracterización química de cada una de las muestras y se correlacionó con el

contenido de nutrientes disponibles para las plantas, con el fin de identificar las posibles estrategias de manejo del cultivo. Los resultados reflejan diferencias entre los contenidos de nutrientes en cada zona, con un marcado desbalance de cationes y un elevado nivel de acidez de los suelos. Adicionalmente, se encontró que en los municipios de Granada y Silvania los niveles de magnesio y cobre son limitantes para el adecuado desarrollo del cultivo.

En la actualidad, no existe información suficiente sobre los requerimientos nutricionales específicos para uchuva; sin embargo, especies de la misma familia como el tomate requieren nitrógeno, fósforo y potasio en cantidades de 3-0,5-5 kg t⁻¹ cosechada de fruta. Es decir, que para obtener un rendimiento promedio de 17 t ha⁻¹ año⁻¹ (promedio nacional), se necesitarían 54, 9 y 90 kg de N, P y K, respectivamente (Bertsch, 2003). Estudios preliminares del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA, 2004) establecieron niveles óptimos, deficientes y excesivos de los nutrientes calcio, boro, potasio y nitrógeno en la hoja de la uchuva. Sin embargo, se requieren estudios de investigación completos que permitan determinar eficientemente cuáles son los requerimientos nutricionales del cultivo para obtener beneficios en términos de producción (Ramírez Gómez et al., 2008).

En cuanto a la fertilización orgánica, se ha reportado que en algunas zonas productoras se aplican entre 2.500 y 5.000 kg de gallinaza o porquinaza cada cuatro meses; es decir, entre 10 y 20 t ha⁻¹año⁻¹ de abono orgánico y entre 400 y 600 kg ha⁻¹ de enmiendas químicas, con forma de fertilizantes compuestos (Torrado et al., 2005) y algunos fertilizantes foliares. Estas aplicaciones se realizan, comúnmente, sin contar con análisis de suelos o asistencia técnica, lo cual genera sobrecostos en la producción y puede formar residuos tóxicos en la fruta y en el ambiente (Ramírez Gómez et al., 2008).

El rajado del fruto se da como respuesta a un déficit fisiológico conocido como “fenómeno de estrés” (Consodine & Brown, 1981), y se relaciona con diversos



factores, principalmente nutricionales, pero influyen aspectos ambientales, genéticos y las posibles interacciones entre ellos (Fischer, 2005).

En la figura 4.1, se presentan los resultados promedio del diagnóstico de los suelos cultivados con uchuva en los tres municipios de estudio para las variables de pH, materia orgánica, fósforo, azufre y las relaciones de Ca, Mg y K. Las barras de color rojo indican déficit; las amarillas, niveles intermedios, y las verdes, niveles adecuados para la producción de uchuva (Roveda et al., 2012).

En los tres municipios, el pH es inferior o igual a 5,5, lo cual corresponde a suelos extremadamente ácidos (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 1992). Lo anterior está asociado a características de formación de suelos, condiciones climáticas y prácticas de manejo. Para la mayoría de los cultivos el mejor pH es ligeramente ácido, entre 5,5 y 6,0, este rango es considerado como suelos moderadamente aptos para el cultivo de la uchuva (Miranda, 2005), ya que se facilita la absorción de nutrientes.

El pH ácido de los suelos afecta la disponibilidad de los nutrientes minerales y puede ser modificado mediante la práctica del encalamiento preferiblemente con cal dolomítica, dado que, además de corregir los limitantes por acidez del suelo, ayuda a suplir algunas demandas nutricionales características de las zonas, como son las deficiencias de magnesio identificadas en la mayoría de los suelos productores de uchuva del departamento de Cundinamarca.

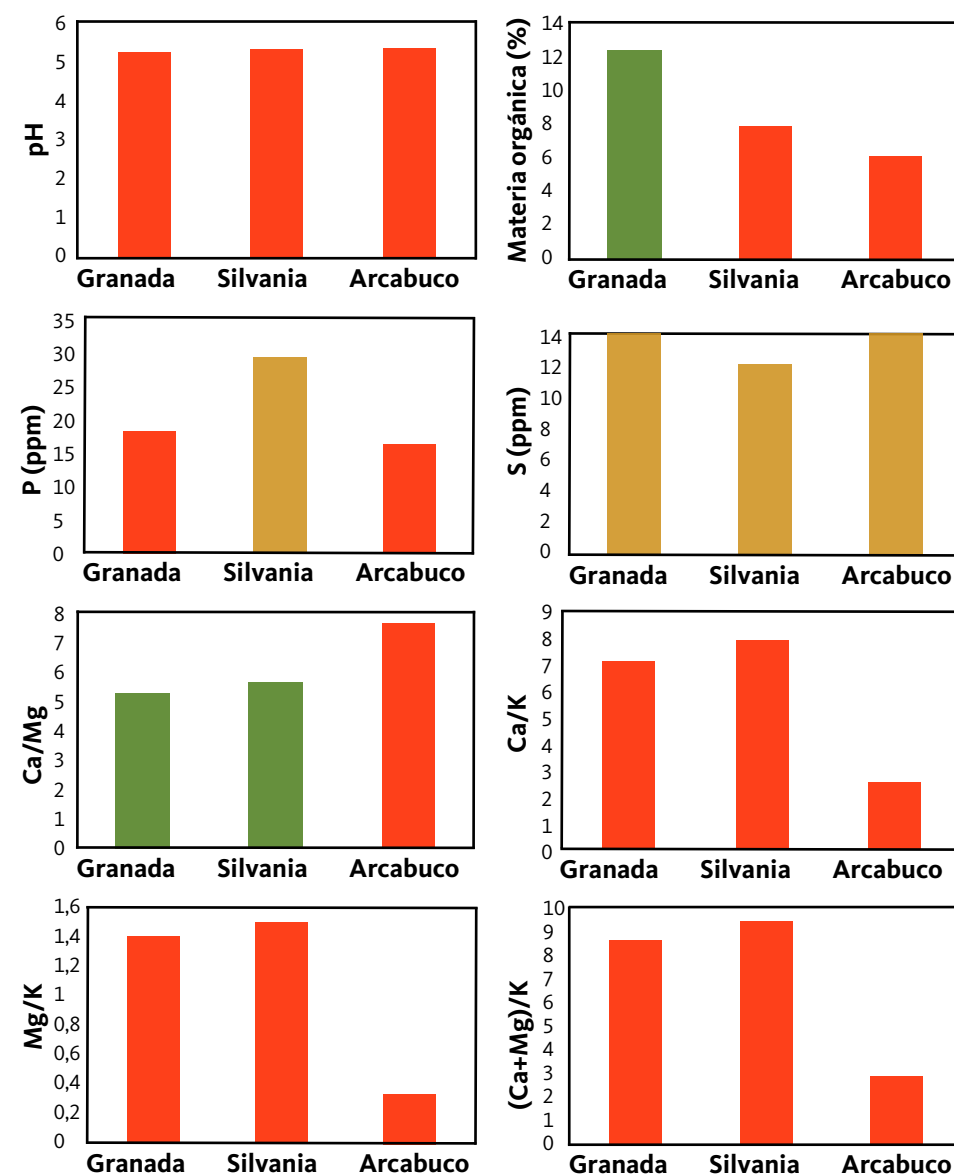


Figura 4.1. Niveles promedio de elementos mayores y relación de cationes en suelos asociados al cultivo de la uchuva en los municipios de Granada y Silvania, y en Arcabuco.

Fuente: Elaboración propia

La materia orgánica (MO) de las zonas productoras de uchuva de los municipios de Granada y Silvania mostró que en Granada un 92,9% de las fincas presentó niveles altos, mientras que en Silvania esto ocurrió solo en un 25% de las fincas, y un porcentaje menor se obtuvo en Arcabuco. Los niveles bajos de materia orgánica restringen la disponibilidad de nitrógeno para la planta, especialmente cuando el cultivo se establece en zonas altas donde la mineralización de la MO es más lenta. Los bajos contenidos de materia orgánica en las zonas productoras de Silvana y Arcabuco indican que estas regiones son más susceptibles a procesos de degradación y erosión, además de tener menor capacidad de retención de humedad y pérdida de actividad microbiológica del suelo, importante en los procesos edáficos relacionados con la nutrición vegetal. La deficiencia de nitrógeno se caracteriza por la clorosis de las hojas bajas, como se muestra en la figura 4.2.



Figura 4.2. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en plantas de uchuva. a. Deficiencia en hojas bajas; b. Deficiencia de planta en campo; c. Deficiencia en hojas superiores en estados avanzados.
Fotos: Gabriel David Roveda

El fósforo (P) es un elemento esencial en todos los procesos que requieren energía en la planta. Más del 50% de las fincas evaluadas en los tres municipios presentó niveles bajos (menores o iguales que 20 mg kg^{-1}), lo cual es un indicativo de la

alta capacidad de fijación de fosfatos en los suelos de la región Andina (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2000). En contraste, solo un 5% de las fincas consideradas en este estudio presentaron niveles altos, mayores de 40 mg kg^{-1} . A nivel general, solo Silvania presenta valores intermedios, con un promedio de 27 mg kg^{-1} . El P tiene la particularidad de estar disponible para la planta, en la medida en que las raíces tengan la capacidad de acceder a este nutriente, que es prácticamente inmóvil en el suelo. Sin embargo, dada las altas tasas de fijación de este elemento, el uso de los microorganismos del suelo como los HFMA y otros microorganismos juegan un papel muy importante en la nutrición vegetal, no solo en la solubilización o fijación de elementos esenciales para la planta, sino también en el transporte de nutrientes desde lugares donde la planta no puede acceder por sí sola, lo cual se atribuye a los HFMA. La deficiencia de fósforo se evidencia en las hojas bajas (viejas), por ser este un elemento móvil en la planta; la principal característica de deficiencia de este elemento comienza en hojas con una coloración verde oscura, que se torna púrpura cuando la deficiencia es severa (figura 4.3)



Figura 4.3. Síntomas de deficiencia de fósforo en plantas de uchuva. a. Estado temprano; b. Estado intermedio; c. Estado severo.
Fotos: Gabriel David Roveda



Los niveles de Azufre (S) en los municipios evaluados mostraron una baja disponibilidad, con niveles menores o iguales que 10 mg kg^{-1} en más del 40 % de las fincas, aunque en promedio tienen valores intermedios. El azufre disponible para la planta se encuentra en forma de sulfatos, por lo que la relación entre S y Ca juega un papel importante en la fertilización, ya que un manejo inadecuado puede favorecer la salinidad con problemas en el desarrollo de las plantas y la fertilidad del suelo. Teniendo en cuenta que la fuente disponible que tiene la planta para absorber este elemento proviene del suelo, la oxidación de este se favorece principalmente por la acción de los microorganismos. Por lo anterior, se debe tener especial cuidado en manejo de los cultivos, ya que las malas prácticas agrícolas tienen efectos directos sobre las poblaciones de microorganismos.

El contenido de calcio (Ca) fue medio (entre 3 y 6 cmol+kg^{-1}) en los tres municipios y el de magnesio (Mg) fue bajo (entre 0,3 y $1,5 \text{ cmol+ kg}^{-1}$). En contraste, se presentaron niveles altos de potasio (K) (de 0,44 hasta $2,30 \text{ cmol+ kg}^{-1}$). Lo anterior genera un desbalance de cationes que no favorece la absorción de Ca y Mg por parte de la planta, debido a los altos niveles de K. Lo ideal es que la relación Ca/Mg esté entre 3 y 6, Ca/K entre 15-0 y Mg/K entre 8-10 (ICA, 1992).

Los síntomas de deficiencia de calcio se caracterizan por la coloris que comienza en la base de las hojas y afecta el borde laminar; esto se aprecia solo en la mitad de la hoja, y en casos severos se presenta necrosis foliar (figura 4.4).

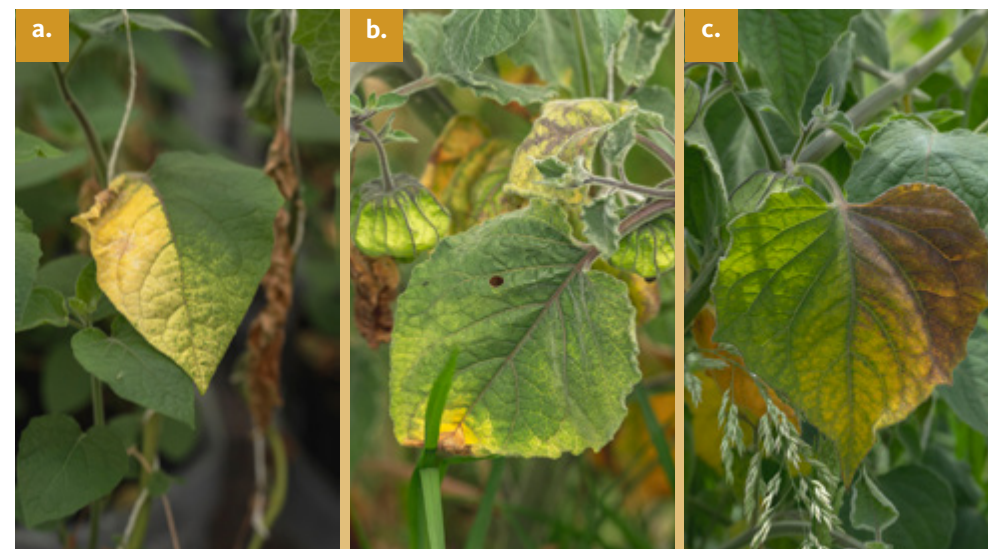


Figura 4.4. Síntomas de deficiencia de calcio. a. Clorosis en media lámina foliar; b. Clorosis en el borde laminar y afectación de capacho; c. coloración rojiza. Fotos: Gabriel David Roveda

Los síntomas de deficiencia de potasio (K) se presentan inicialmente como pequeños puntos cloróticos en la lámina foliar (figura 4.5).

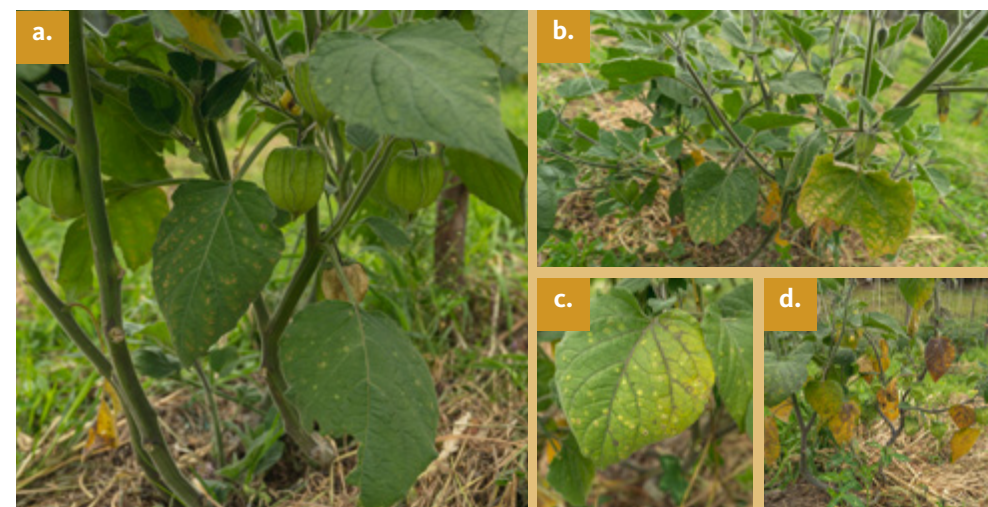


Figura 4.5. Síntomas de deficiencia de potasio. a. Manchas cloróticas en estados iniciales; b. y c. Intermedios con halos cloróticos; d. Severos con necrosis. Fotos: Gabriel David Roveda



El magnesio empieza con una coloración verde pálida intervenal y se transforma en clorosis intervenal en estados más severos de deficiencia, la cual puede estar acompañada por coloraciones rojizas intervenales (figura 4.6)



Figura 4.6. Síntomas de deficiencia de magnesio en plantas de uchuva. a. b. y c. Inicio de deficiencia; d. Intermedio; e. y f. Severo.
Fotos: Gabriel David Roveda

En la figura 4.7, se presentan los resultados promedio generales obtenidos para los elementos menores que la planta requiere en pequeñas cantidades, pero el exceso o déficit de estos puede generar limitantes en el desarrollo de las plantas de uchuva.

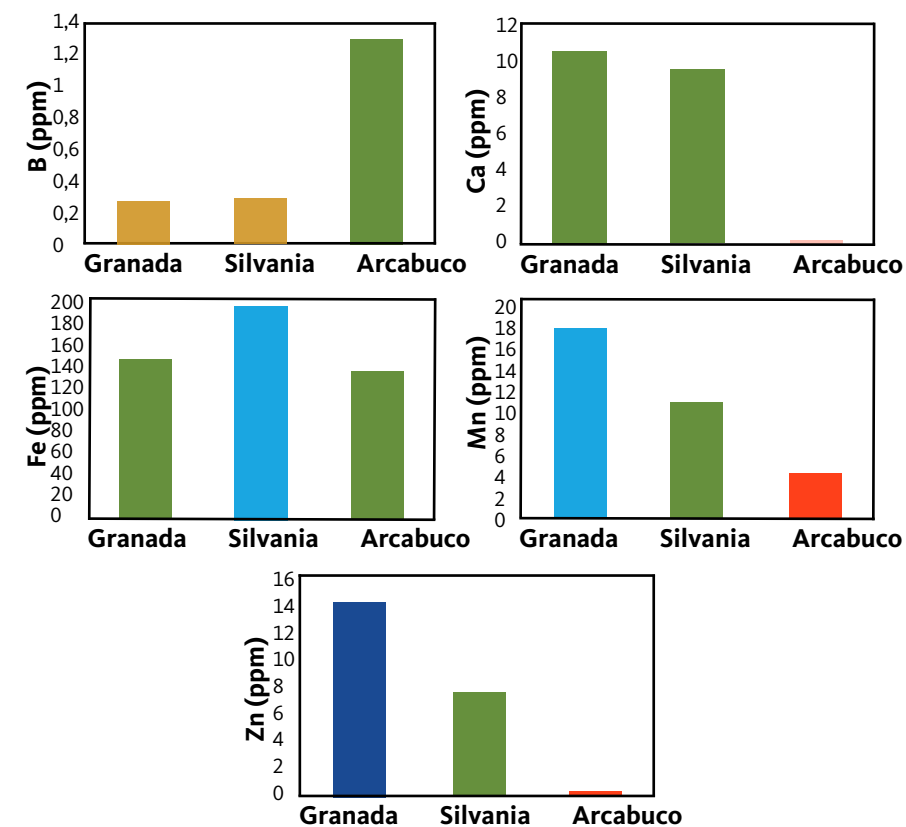


Figura 4.7. Niveles promedio de elementos menores en suelos asociados al cultivo de la uchuva en los municipios de Granada y Silvania, y Arcabuco.
Fuente: Elaboración propia

El boro (B) se presenta en niveles medios en Granada y Silvania, y en niveles adecuados en Arcabuco; este nutriente es fundamental en floración y fructificación de la uchuva. Por el contrario, el cobre, está en niveles adecuados en Silvania y Granada, y en bajos niveles en Arcabuco. Para el caso del Fe, se observan valores adecuados para Granada y Arcabuco, mientras que para Silvania se observan valores muy altos. Finalmente, el Mn y el Zn muestran valores muy altos en Granada, valores adecuados en Silvania y valores muy bajos en Arcabuco, lo que puede estar asociado a prácticas de manejo del cultivo.



Los suelos difieren significativamente entre las zonas productoras, en especial los relacionados con contenidos de materia orgánica y de algunos elementos menores (Mn y Zn). Estos últimos se presentan en exceso, pero si se aumenta el pH se reducirá su solubilidad y toxicidad para las plantas. También debe manejarse de forma adecuada la aplicación de fungicidas que contengan estos minerales, o utilizar métodos alternativos como los biológicos.

Para el momento del muestreo, se observa que los suelos de las zonas productoras de uchuva presentan fuertes desbalances nutricionales, ya sea por excesos o deficiencias en contenidos de nutrientes para el desarrollo de los cultivos. Por esto, se requiere la elaboración de planes de fertilización integrales que involucren la aplicación de enmiendas y la fertilización química, orgánica y biológica que garanticen una adecuada sostenibilidad del cultivo.

Uso y aplicación de microorganismos benéficos en el cultivo de la uchuva

La uchuva en pocos años pasó de ser una especie silvestre de interés local para los pobladores de los Andes a ser la especie andina más promisoría y exitosa en los mercados internacionales, y en los últimos años ha alcanzado el segundo y el tercer puesto en exportaciones de frutales de Colombia. Las exigencias de mercado, en cuanto a calidad e inocuidad de la fruta, así como del cumplimiento de volúmenes de producción de acuerdo con la demanda, hacen necesaria la generación de estrategias que permitan mejorar la competitividad, sostenibilidad e inocuidad de la producción, preferiblemente dentro de sistemas de producción “orgánicos o más limpios”.

En este sentido, el uso de alternativas tecnológicas que permitan sustituir de forma parcial o total el uso de fertilizantes químicos de síntesis es importante para el desarrollo agrícola, ya que este tipo de productos son empleados sin fundamento, lo que genera un mayor deterioro al ecosistema y afecta los parámetros de calidad

exigidos por el mercado internacional, en especial de los frutos, porque, en su mayoría, son altamente residuales. De esta forma, los biofertilizantes surgen como una alternativa económica y ambientalmente viable, que permite reducir el uso de fertilizantes de síntesis química, y así favorecer la competitividad y sostenibilidad de los cultivos de interés agrícola. Estos microorganismos del suelo, base de los productos de biofertilización, intervienen en el aumento de los niveles de disponibilidad, transporte y absorción de nutrientes; esto reduce los costos de producción, incrementa la producción, calidad e inocuidad del producto, y disminuye el riesgo de contaminación ambiental debido a la minimización de los residuos de fertilizantes de síntesis química.

Con el fin de ofrecer estrategias que permitan a los productores tener cultivos más competitivos y sostenibles, con un menor uso de fertilizantes de síntesis química, desde 2004 AGROSAVIA ha adelantado una serie de investigaciones que tienen por objeto analizar y potenciar el efecto benéfico que algunos microorganismos del suelo como los HFMA pueden ejercer sobre la nutrición vegetal, específicamente del cultivo de la uchuva.

Dada la complejidad del trabajo de investigación realizado y su alta importancia para el sector agrícola, este es un proceso que requiere múltiples evaluaciones, partiendo desde una etapa inicial en la cual se identifican las principales comunidades y poblaciones de microorganismos, se evalúa su potencial en etapa de vivero y finalmente se realiza su evaluación en condiciones de campo en diversas ecorregiones. Cada una de estas etapas permite seleccionar las mejores asociaciones y estrategias para fomentar sistemas productivos con mayores niveles nutricionales y mejores rendimientos.

A continuación, se presentan los resultados de la selección de HFMA en etapa de vivero y campo en los departamentos de Boyacá (Cómbita) y Cundinamarca (Granada), así como una breve descripción de la producción de inóculos de HFMA.



Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA)

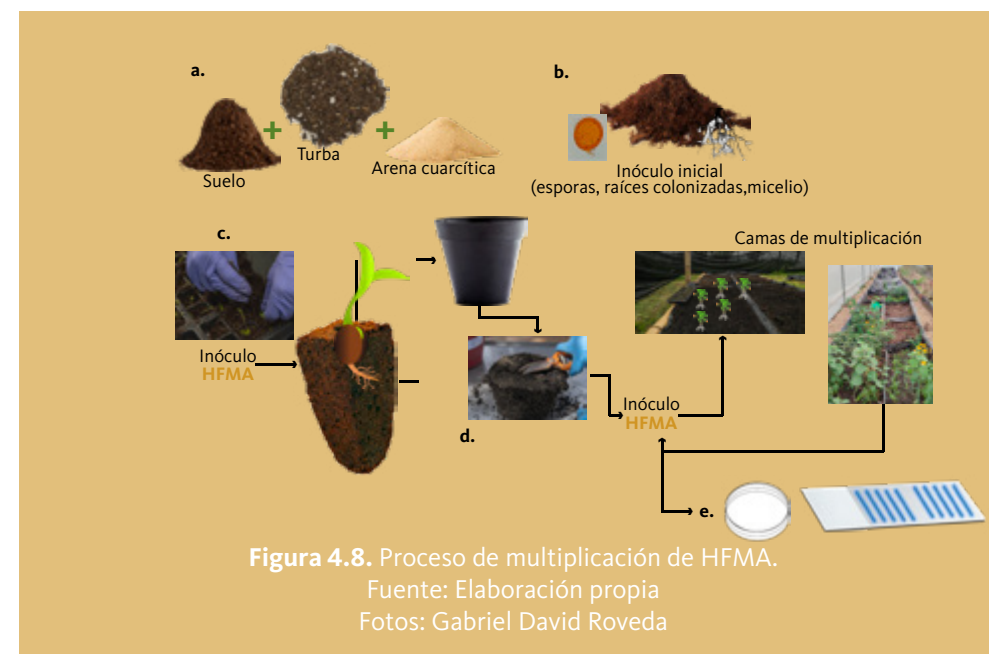
Los HFMA son microorganismos que se encuentran de forma natural en el suelo y se asocian con la mayoría de las plantas terrestres. Esta asociación permite a la planta contar con un aliado estratégico para optimizar los recursos disponibles y llegar más allá de la zona de abastecimiento radical, lo que se considera una ventaja para las plantas micorrizadas en términos nutricionales (Bonfante & Genre, 2008).

Un inóculo de HFMA contiene propágulos infectivos del hongo que son esporas, fragmentos de raíz micorrizada o hifas libres. Estas tres formas son capaces de establecer una relación simbiótica con una planta, de tal manera que el hongo pueda completar su ciclo de vida, ya que estos microorganismos son simbioses obligados que requieren plantas para multiplicarse (Smith & Read, 2008). A pesar de que estos microorganismos se encuentran naturalmente en el suelo y no son específicos para cada especie vegetal, es necesario potenciar su actividad, robusteciendo las comunidades nativas o inoculando con cepas referentes para obtener los beneficios de la simbiosis, especialmente en cultivos de interés agrícola como la uchuva (Morton, 1987).

Se considera que un inóculo de buena calidad debe contener al menos 60 ± 10 esporas g⁻¹ de suelo. La multiplicación de HFMA toma entre 4 y 6 meses, ya que es un proceso escalonado que busca paso a paso promover la multiplicación de esporas.

En la figura 4.8, se presenta un esquema general del proceso de multiplicación de HFMA, el cual se inicia con la selección de un inóculo de interés contenido en una o varias muestras de suelo, se realiza una cuantificación de esporas y se selecciona una planta hospedera o planta trampa. A partir de una mezcla de sustratos estériles y preferiblemente con bajo contenido nutricional, por lo general se usa una mezcla de suelo, arena de río y cascarilla. Sobre esta mezcla comienza

el escalamiento, con una inoculación de 70 esporas por plántula/semilla, y se va aumentando paulatinamente el volumen de sustrato hasta obtener la cantidad de inóculo requerido. En cada paso del escalamiento, es necesario hacer un recuento de esporas y someter a las plantas a un periodo de estrés hídrico, para estimular la esporulación. Finalmente se cosechan las raíces y se realiza el control de calidad del inóculo producido.



Para determinar la calidad de los inóculos producidos, se realiza una serie de controles de calidad que permiten estimar el número de esporas g⁻¹ suelo y el porcentaje de colonización de la raíz de la planta, los cuales son esenciales para determinar la calidad de un inóculo y con esto garantizar un establecimiento efectivo de la asociación simbiótica, planta-HFMA. Los controles de calidad se realizan en condiciones de laboratorio y por lo general se hacen siguiendo los protocolos propuestos por Gerdermann & Nicolson (1963) para la cuantificación de esporas, y de Phillips & Hayman (1970) para la determinación del porcentaje de micorrización de raíces.

Evaluación de inóculos nativos de HFMA en plantas de uchuva

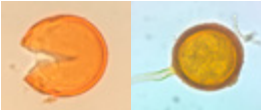
Los HFMA juegan un papel muy importante dentro de la nutrición vegetal, pues son capaces de sustituir la aplicación de fertilizantes de síntesis hasta en un 50 %. La efectividad de la inoculación depende de varios factores que se regulan por la actividad microbiana en el suelo y la respuesta de las plantas a la presencia de estos microorganismos, por lo que es ideal hacer una inoculación en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, con el fin de favorecer el establecimiento efectivo de la simbiosis.

Para la inoculación de plantas de uchuva, se recomienda hacerlo desde el momento del plantulaje en bandejas de germinación, en una dosis de 70 esporas por planta. No se necesita una reinoculación, ya que los HFMA al establecer la simbiosis con la planta pueden completar su ciclo de vida y multiplicarse y así generar nuevas esporas que permiten el mantenimiento e intercambio de nutrientes a lo largo del tiempo. A pesar de que lo ideal es hacerlo en los primeros estados de desarrollo de la planta, la inoculación se puede hacer en cualquier momento de desarrollo del cultivo, procurando que el inóculo de HFMA quede en contacto con las raíces de la planta. En caso de hacerse con plantas de mayor tamaño, la cantidad de inóculo requerido es mayor y también se realiza una sola vez.

Si bien los HFMA no son específicos para cada especie vegetal, como sí ocurre con algunos otros microorganismos con potencial biofertilizante, existe una dinámica preferencial de algunos géneros de HFMA por colonizar alguna especie vegetal particularmente. En este sentido, es importante trabajar con poblaciones nativas de HFMA, con el fin de seleccionar las comunidades o poblaciones más eficientes en la absorción y en el transporte de nutrientes. En el caso de la uchuva, a partir de muestras de suelo asociadas al cultivo tomadas en diferentes zonas productivas, se seleccionaron cuatro inóculos con poblaciones nativas, los cuales fueron evaluados a nivel de vivero junto con tratamientos control sin inoculación y un inóculo de

referencia; este último ha mostrado en diversos estudios gran versatilidad para colonizar diferentes especies vegetales, y está conformado principalmente por esporas de los géneros, *Glomus*, *Acaulospora* y *Entrophospora*. Este inóculo de referencia fue producido y comercializado por AGROSAVIA (en su momento Corpoica). En la tabla 4.1, se presentan los géneros predominantes en cada uno de los inóculos de poblaciones nativas, cuya identificación se realizó de acuerdo con las características morfológicas de las esporas y se clasificaron a partir de las claves taxonómicas de Schenk & Pérez (1990).

Tabla 4.1. Género predominante de cada inóculo nativo multiplicado, producido y evaluado

Inóculo (codificación interna)	Género(s) predominante(s)	Fotografía microscópica (40X) de la espora
MUI	<i>Acaulospora</i> sp.	
MUII	<i>Glomus</i> Morfotipo 1	
MUIII	<i>Glomus</i> Morfotipo 2	
MUIV	<i>Acaulospora</i> sp y <i>Glomus</i> sp.	

Fuente: Elaboración propia
Fotos: María Margarita Ramírez Gómez

A partir de los resultados obtenidos en etapa de vivero, se evidenció la capacidad de estos inóculos para colonizar plantas de uchuva, con porcentajes de colonización entre el 32 % y el 48 %. Se observó un efecto positivo en el desarrollo de las plantas



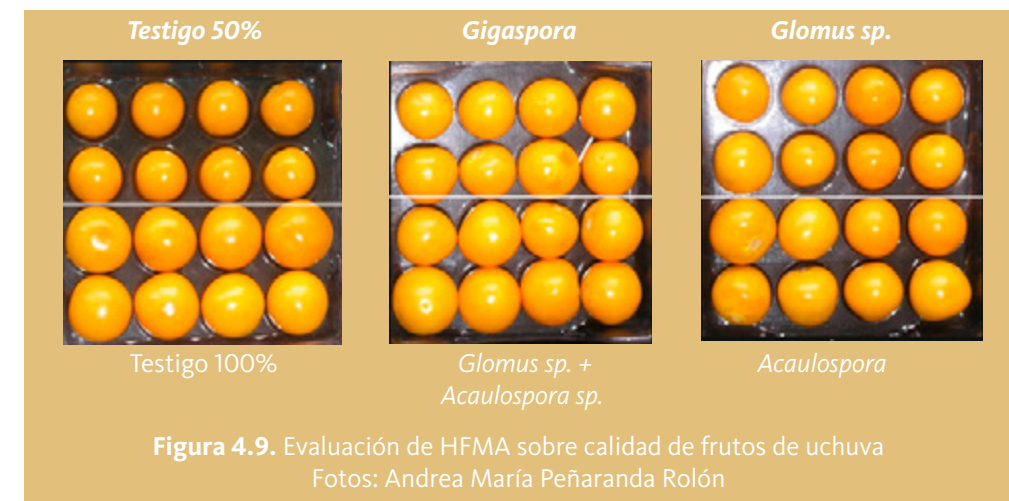
y resultados que mostraron una mejor producción de biomasa aérea y radicular de las plantas inoculadas con respecto a los tratamientos control. Dentro de los tratamientos de inoculación evaluados se destaca que las plantas inoculadas con poblaciones nativas de los géneros *Glomus* sp. y *Acaulospora* sp. (MUIV) y Mycobiol® mostraron ventajas con respecto a los demás tratamientos de inoculación y los tratamientos control; incluso superaron al testigo con la dosis completa de fertilización química, lo que sugiere en etapa de vivero una sustitución parcial del 50 % de la fertilización de síntesis, empleando HFMA como biofertilizante (Ramírez et al., 2009; Ramírez et al., 2017).

De los resultados obtenidos es importante resaltar que los aislamientos MUI, MUIV y Mycobiol fueron los más eficientes en el desarrollo de las plantas. Dado que a este nivel de evaluación no se alcanza a determinar la eficiencia de la inoculación en términos de desarrollo del cultivo, fue importante que estas cepas que mostraron un potencial en la optimización de la nutrición vegetal fueran retadas a condiciones de campo, lo que permitió tener un estudio completo y seleccionar las mejores asociaciones y determinar su efecto en la calidad y productividad del cultivo. Para esto, se desarrolló una serie de ensayos en condiciones de campo en algunos de los municipios productores de uchuva, con el fin de tener una evaluación bajo diferentes condiciones agroecológicas. Adicionalmente, las evaluaciones en campo permitieron determinar la relación costo-beneficio del uso de HFMA como biofertilizantes en el cultivo de la uchuva.

A partir de la evaluación de los experimentos en campo con variables agronómicas, variables de rendimiento y de calidad de los frutos, se pudo determinar la eficiencia de estos microorganismos en la nutrición vegetal y se determinó que, así como en la etapa de vivero, la inoculación con HFMA permite optimizar la fertilización y se puede sustituir hasta un 50 % la fertilización de síntesis química; esto favorece la rentabilidad, sostenibilidad y competitividad del cultivo.

Dentro de las variables agronómicas evaluadas en cada uno de los ensayos están: altura de la planta, peso fresco y seco de la parte aérea, y número de ramas. Para la medición de estas variables, se tomaron tres plantas seleccionadas al azar dentro de cada una de las parcelas. Las variables de rendimiento, medidas en kg ha⁻¹, están dadas por el peso total de los frutos cosechados por cada tratamiento y por cada repetición, y es calculada teniendo en cuenta que la densidad de siembra de una hectárea de un cultivo de uchuva es de 1.700 plantas aproximadamente. Para la medición de las variables de calidad de la fruta, se tomaron 20 frutos al azar y se evaluó diámetro; clasificación de consumo según el porcentaje de frutos seleccionados para exportación, consumo nacional y desecho; pH, grados Brix, porcentaje de acidez y color (figura 4.9).

En términos generales, los resultados en los ensayos de evaluación en campo muestran que la inoculación con HFMA en plantas de uchuva tiene beneficios en las variables de producción de biomasa, desarrollo radicular de las plantas y calidad de los frutos.



En Cóbbita, Boyacá, se evaluó el efecto de la inoculación de HFMA en la optimización de la fertilización de síntesis química y se pudo determinar que las plantas inoculadas presentan niveles nutricionales, sin diferencias significativas

con respecto al tratamiento con la dosis completa de fertilización (100%). Esto sugiere una ventaja en términos ambientales y económicos, ya que se confirma la capacidad de estos microorganismos para sustituir hasta en un 50 % la fertilización convencional. Dado que el calcio y el fósforo son en la mayoría de los suelos elementos poco disponibles y con una baja movilidad, se encontró que las plantas inoculadas tuvieron un mayor efecto en la absorción de estos nutrientes con respecto al tratamiento control de 10 % de fertilización química (figuras 4.10 y 4.11).

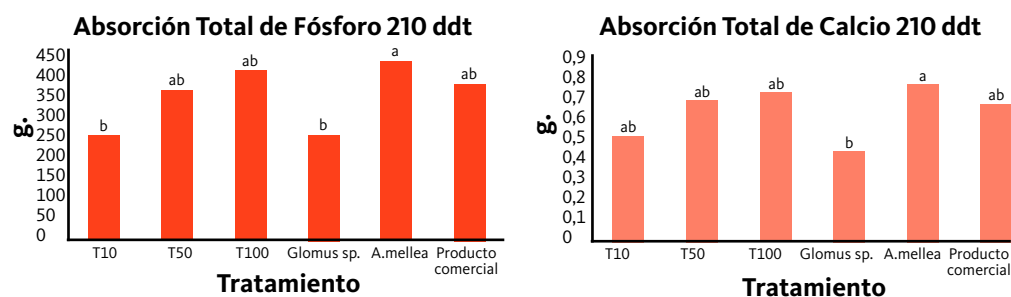


Figura 4.10. Absorción total de fósforo y calcio por planta a los 210 días después del trasplante (ddt). T10, T50 y T100 corresponden a tratamientos control sin inoculación con el 10 %, el 50 % y el 100 % de la fertilización de síntesis química. Los tratamientos de inoculación se fertilizaron con el 50 % de la dosis. *Glomus* sp. y *A. mellea* son géneros de HFMA y un tratamiento con inóculo comercial con predominio del género *Glomus intraradices*.

Fuente: Elaboración propia

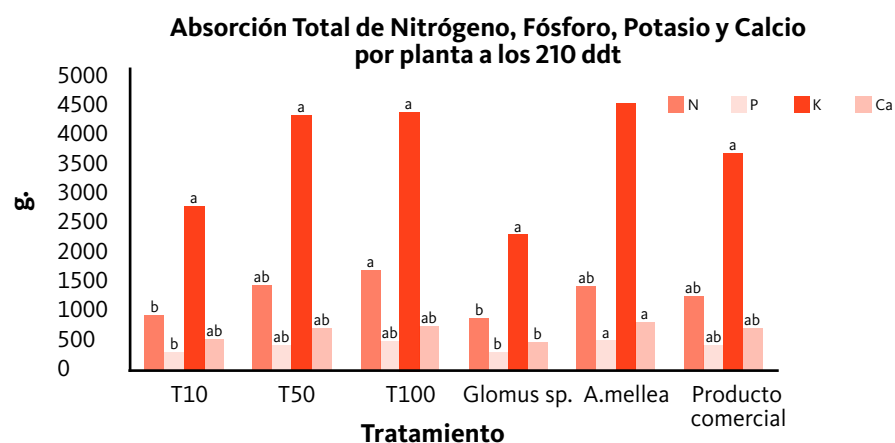


Figura 4.11. Absorción total de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio por planta a los 210 ddt.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la producción, a pesar de no presentar diferencias significativas entre tratamientos, cabe destacar que en el pico de cosecha a los 260 ddt las plantas de uchuva inoculadas con *A. mellea* presentaron incrementos del 80 % respecto al testigo de fertilización química T100 (figura 4.12). La fruta se clasificó teniendo en cuenta su calidad de exportación (figura 4.13); en este punto, el mayor porcentaje de frutos de calidad de exportación fue el de las plantas bajo el tratamiento T100, seguido del testigo T50. Por su parte, en las plantas bajo tratamientos con HFMA, el mayor porcentaje de frutos de calidad de exportación lo presentaron las plantas inoculadas con el producto comercial en el pico de cosecha a los 260 ddt y las inoculadas con *Glomus* sp., a los 280 ddt. Aunque las plantas inoculadas con *A. mellea* produjeron porcentajes de frutos de calidad de exportación ligeramente menores, la cantidad total de frutos producidos por las plantas inoculadas con este HFMA fue mayor.

Uno de los criterios de clasificación de los frutos en la finca es el grado de madurez. Un fruto sobremaduro, cuyo cáliz presente color marrón y esté seco se destina al mercado nacional. Este tipo de frutos sobremaduros y con el cáliz seco fue muy abundante en las parcelas de plantas inoculadas con *A. mellea* a los 260 ddt, lo que puede indicar que estas plantas comenzaron su producción de frutos más temprano que las plantas en los demás tratamientos.

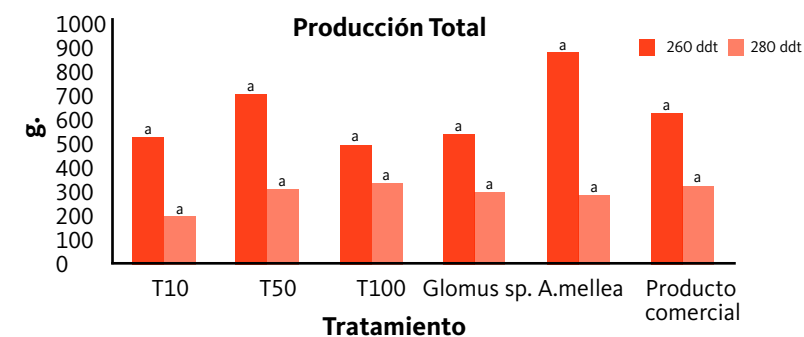


Figura 4.12. Promedios de producción total de frutos a los 260 ddt y 280 ddt. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) según la prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan.

Fuente: Elaboración propia



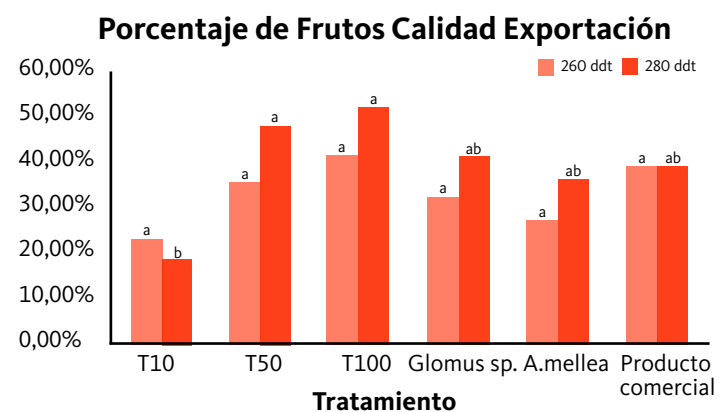


Figura 4.13. Porcentajes de producción de frutos de calidad de exportación por tratamiento a los 260 ddt y 280 ddt por nueve plantas. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) según la prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan.
Fuente: Elaboración propia

Para disminuir el efecto que producen las prácticas inadecuadas que están relacionadas con la fertilización química de síntesis y el mal manejo de suelos, se recomienda como alternativa la fertilización integral basada en la mezcla de fertilización biológica con el uso de HFMA, fertilización química y la fertilización orgánica (Ramírez et al., 2012). En la localidad de Granada, se realizó el análisis económico de la biofertilización con HFMA, con los tratamientos: *Glomus*, *Acaulospora mellea*, *Glomus* + *Acaulospora* y *Glomus intrarradices* (inóculo comercial), fertilizados con el 50%; estos, a su vez, fueron comparados con los testigos con el 100%, el 50% y el 10% de fertilización. Esta alternativa permite obtener cultivos más competitivos sostenible, y reducir los costos de producción aumentando la productividad de los cultivos mediante la sustitución parcial de la fertilización química; de esta manera, se disminuyen los niveles de residualidad en fruta producidos por el uso indiscriminado de productos químicos.

Se realizó la evaluación económica del uso de biofertilizantes tipo HFMA en el cultivo de uchuva; los tratamientos de inoculación mostraron mayores relaciones beneficio/costo (2,7) que los tratamientos testigo (1,6) y el promedio nacional (SIPSA; 1,5). Además, la producción varió significativamente de acuerdo con la calidad de fruta tipo exportación. Para los tratamientos de inoculación se registraron \$28.509 kg ha⁻¹, mientras que el valor nacional fue de 882 kg ha⁻¹; comparado con el testigo 100 % FQ, cuya producción tipo exportación fue de \$16.081 kg ha⁻¹ y la nacional fue de \$10.26 kg ha⁻¹, mientras que el promedio nacional SIPSA registró \$15.871 kg ha⁻¹ tipo exportación y \$1.962 kg ha⁻¹ tipo nacional.

Se puede concluir que los tratamientos de inoculación con HFMA en la finca Guadalajara de Granada, Cundinamarca, incrementaron la producción y la calidad de uchuva, y generaron mayores ingresos a los productores con relaciones beneficio/costo positivas.

En los suelos productores de uchuva, en los municipios de Granada, Silvania y Arcabuco, se observa, en términos generales, un desbalance nutricional, debido a prácticas inadecuadas en el manejo de la fertilización. Para esto, se requieren planes de fertilización y enmiendas para mejorar sus condiciones y acercarse al potencial productivo de la uchuva.

En los sistemas de producción de uchuva se encuentran asociaciones naturales de HFMA, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas y del manejo del cultivo en cada municipio. Los HFMA pueden utilizarse para mejorar la eficiencia de la fertilización, especialmente para el suministro de fósforo en la planta.

El uso de HFMA es una estrategia que permite incrementar los niveles de competitividad y sostenibilidad del sistema de producción, y mejora la calidad del fruto. Esto se logra mediante la fertilización integrada y la reducción en un 50 % de la dosis de fertilizantes de síntesis química por el uso de HFMA.





Fotografía: Gabriel D. Roveda

Capítulo 5. Manejo integrado del cultivo como estrategia para una adecuada nutrición vegetal y mitigación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali*

Diana Paola Serralde Ordóñez, María Margarita Ramírez Gómez, Andrea María Peñaranda Rolón, Andrés Díaz García, Érika Patricia Martínez Lemus, Wilmar Alexander Wilches Ortiz, Emerson Duván Rojas Zambrano, Camilo Ernesto Sanabria Torres

El cultivo de la uchuva en Colombia enfrenta varios retos. Así como muchos otros sistemas productivos, la poca eficiencia de la fertilización y los elevados costos asociados a esta actividad no solo afectan la productividad y rentabilidad, sino también comprometen la sostenibilidad y competitividad del cultivo. Además, el manejo de plagas y enfermedades representa para los productores un desafío adicional, ya que en muchos casos como el de *Fusarium oxysporum* no se han identificado estrategias 100 % efectivas para controlar la enfermedad de marchitamiento vascular causada por este hongo, que genera incluso la pérdida total del cultivo y reduce significativamente su ciclo de producción.

Desde hace más de diez años, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) ha sumado esfuerzos de grupos transdisciplinarios de investigación para mejorar la nutrición del cultivo y mitigar el efecto que el marchitamiento vascular ejerce sobre el cultivo. En este capítulo, se abordan los resultados obtenidos en el marco del proyecto de investigación “Desarrollo, transferencia de tecnología y conocimiento para la innovación que reduzca la baja competitividad de uchuva derivada de la emergencia por el Covid-19, mediante la disminución del marchitamiento vascular en Ubaté y Granada, Cundinamarca”, financiado por la Gobernación de Cundinamarca a través del Sistema General de Regalías. A partir de este proyecto se validaron estrategias de manejo integrado del



cultivo para mitigar el impacto de la marchitez vascular y optimizar la fertilización mediante el uso de microorganismos benéficos (hongos formadores de micorrizas arbusculares [HFMA] – *Rizogloium irregulare* + *Acaulospora mellea* y bacterias promotoras de crecimiento vegetal [BPCV] *Bacillus subtilis* Bs006) y el manejo del cultivo, con aplicaciones de Ca y Si dentro del esquema de fertilización y la implementación de podas de formación y sanitarias.

Para validar estas estrategias, previamente evaluadas en investigaciones que realizó AGROSAVIA, se establecieron en el departamento de Cundinamarca, municipio de Granada, parcelas con tres tratamientos, dos de inoculación con microorganismos benéficos y un control, replicados en tres materiales de siembra (tabla 5.1). Los tres materiales de siembra evaluados fueron: uno con gran difusión dentro de los productores de Granada (material agricultor), otro utilizado por una empresa comercial y otro de la variedad Dorada, liberada por AGROSAVIA en 2016.

Tabla 5.1. Descripción de tratamientos establecidos en campo con tres materiales de siembra

Tratamiento	Descripción	Fertilización***
T1	HFMA*	Parcial (50 %)
T2	HFMA + BPCV**	
T3	Control	Completa (100 %)

*70 Esporas de HFMA desde la germinación.
 **15ml / planta (1 X 10⁸ esporas - ml-1), aplicaciones (germinación, transplante, 15-30 días después del transplante).
 ***De acuerdo con el análisis de suelos y los requerimientos del cultivo.

Fuente: Elaboración propia

La selección del lote se basó en el historial de presencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* y afectación de cultivos de uchuva previos por marchitamiento vascular. En cuanto al manejo del cultivo, para los tratamientos de control se tuvieron en cuenta las prácticas empleadas de forma habitual para el sistema productivo por parte del

agricultor, con una fertilización de síntesis química completa basada en el análisis químico de suelos. Para los tratamientos de inoculación con microorganismos benéficos, se empleó un manejo integrado del cultivo recomendado que incluye podas, fertilización al 50 % y aplicación de calcio y sílice.

Establecimiento del ensayo

Antes del establecimiento del ensayo se realizó un muestreo de suelos en el lote, cuyos resultados reflejan un déficit de nutrientes primarios, secundarios y microelementos, con excepción de Zn (tabla 5.2) a partir del cual, teniendo en cuenta las recomendaciones de fertilización para el cultivo de la uchuva, se planteó el esquema de fertilización completo (tabla 5.3) para el tratamiento de control. Este último se redujo a la mitad para los tratamientos de inoculación y en ambos casos se realizó de forma fraccionada en presiembra, siembra, floración y tres reabones a los 6, 9 y 12 meses después de la siembra.

Tabla 5.2. Análisis de fertilidad del suelo previo al establecimiento del ensayo

Variable	Unidad	Valor	Variable	Unidad	Valor
			Hierro	mg/Kg	7,18
pH		5,46	Manganeso	mg/Kg	42,4
CIC	meq/100g	6,06	Cobre	mg/Kg	0,4
Materia Orgánica	%	17,6	Zinc	mg/Kg	23,1
Nitrógeno total	%	0,85	Boro	mg/Kg	0,382
Potasio intercambiable	meq/100g	0,434	Sodio intercambiable	meq/100g	0,111
Calcio intercambiable	meq/100g	4,06	Conductividad eléctrica	dS/m	0,38
Magnesio intercambiable	meq/100g	1,27	Relación Ca/Mg		3,2
Ácido intercambiable	meq/100g	0,188	Relación Ca/K		9,35
Fósforo	mg/Kg	14	Relación Mg/K		2,93
Azúfre	mg/Kg	9,87	Relación (Ca+Mg)/K		12,3

Fuente: Elaboración propia



Tabla 5.3. Esquema de fertilización de acuerdo con el tratamiento y análisis químico de suelos

Fenología Fuente*	Tratamiento control				Tratamiento de inoculación			
	Presiembra	Siembra	Floración	Reabone	Presiembra	Siembra	Floración	Reabone
	g/planta				g/planta			
Materia orgánica	1000				1000			
Cal dolomita	500				500			
Urea		200	100			100	30	
Fosfato diamónico 10-30-10		80	80	60		40	40	30
Nitrato de Calcio			80	60			40	40
CaCO ₃	150				200		60	60
Sulfato hidratado de Mg			80	80			40	40
Ca, Mg, S y micronutrientes		60	60	60		30	30	30
Sulfato de Manganeso			4	4			2	2
Sulfato de Cobre			4	4			2	2
Acido Bórico			4	4			2	2
Silicio granulado						100	100	100

Fuente: Elaboración propia

El trazado del lote se realizó teniendo en cuenta la distancia de siembra (2,2 m entre surcos y 1,5 m entre plantas) y los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en nueve parcelas, con 72 plantas cada una. Además, se realizó un muestreo exploratorio en cuadrícula para cuantificación de unidades formadoras de colonia (UFC) de *F. oxysporum* (figura 5.1) y se tomaron 40 muestras, las cuales se analizaron de acuerdo con la concentración de *F. oxysporum*.

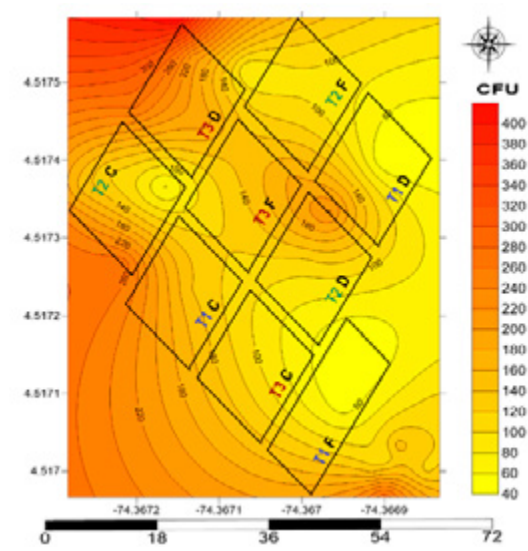


Figura 5.1. Distribución de tratamientos y de concentración de *F. oxysporum* (UFC) en el lote previo al establecimiento del ensayo en el municipio de Granada.
Fuente: Elaboración propia
Nota: T: tratamiento; F: material agricultor; C: material comercial; D: variedad dorada.

Para el escalamiento y la producción del inóculo de HFMA (*Rhizoglomus irregulare* y *Acaulospora mellea*), se siguió la metodología de multiplicación de propágulos infectivos con plantas trampa de Morton (1987). Esta consiste en un escalamiento del volumen de sustrato, partiendo desde bandejas de germinación con una inoculación de 70 esporas por planta; después de finalizar el proceso de escalamiento se homogenizó el sustrato y las raíces, y se realizó un control de calidad final del inóculo empleando los protocolos de análisis micorrícico de tinción diferencial con azul de tripán para cuantificación del porcentaje de colonización de raíz micorrizada y aislamiento y cuantificación del número de esporas por gramo de suelo, basados en las técnicas de Gerdemann & Nicolson (1963) y Phillips & Hayman (1970). Los resultados de calidad para el inóculo empleado fueron de 87 esporas por gramo y de 61% de colonización de raíces.



La producción de *B. amyloliquefaciens* se llevó a cabo siguiendo la metodología estandarizada en la Planta Piloto de Bioproductos de AGROSAVIA, la cual consta de dos etapas: en la primera, se obtuvieron los inóculos a partir de un cultivo puro de la bacteria que se incuban en “shaker” con agitación constante y en un medio de cultivo previamente optimizado (Díaz García et al., 2015a); en la segunda, se inoculó un fermentador de semilla de 13 litros, en el que se controlaron la temperatura, la agitación, el oxígeno disuelto y la formación de espuma, de acuerdo con una estrategia de fermentación previamente estandarizada que se basa en dos criterios fisicoquímicos (Díaz et al., 2015b). Los controles de calidad microbiológicos en todas las etapas se realizaron mediante dos técnicas: una rápida de tinción en fresco para cuantificación microscópica de bacilos y esporas (esporas/ml, bacilos/ml), que se complementa con otra técnica de siembra en placa para cuantificación macroscópica de esporas y bacilos (UFC/ml) que toma 48 horas (Collins & Lyne, 1989).

Para la inoculación de plántulas, se realizó la desinfección de semillas de uchuva, para lo cual se sometió el material vegetal (variedad Dorada y material comercial y agricultor) a una inmersión en hipoclorito de sodio al 1%, seguida de un lavado por triplicado con agua destilada (figura 5.2). Para la germinación, las semillas se ubicaron en recipientes plásticos de 10 litros de capacidad con 1 kg de turba y se sometieron a un fotoperiodo constante de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad. Después de alcanzar la máxima emergencia de semillas (alrededor del 80%), las plántulas con al menos dos hojas verdaderas fueron trasplantadas a bandejas de germinación de 50 alvéolos (figura 5.3).

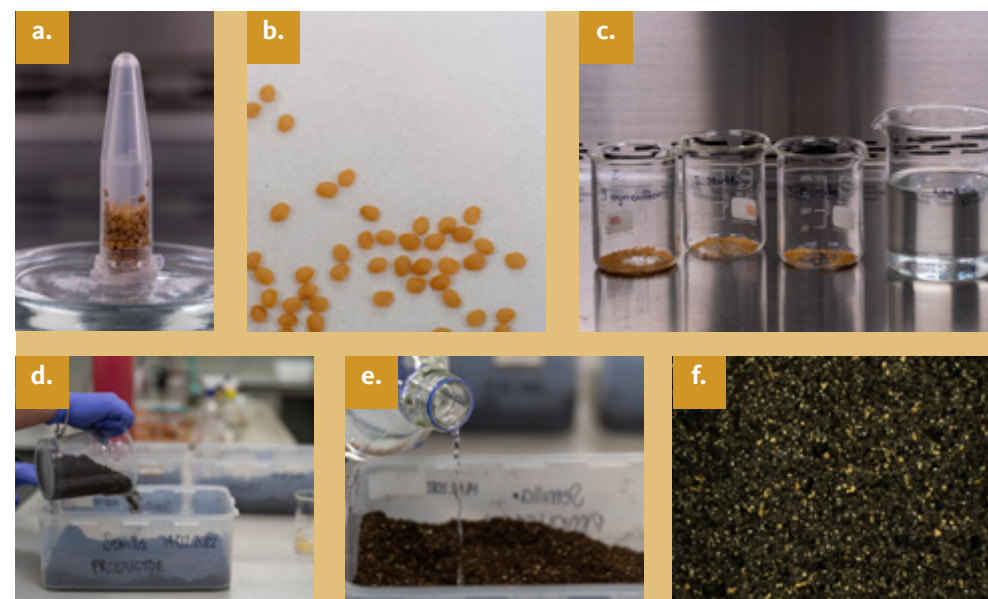


Figura 5.2. Desinfección y germinación de semillas de uchuva a. y b. Semillas de uchuva; c. Proceso de desinfección con hipoclorito; d. Llenado de contenedores con turba; e. Riego al sustrato; f. Siembra de semilla.

Fotos: Gabriel David Roveda

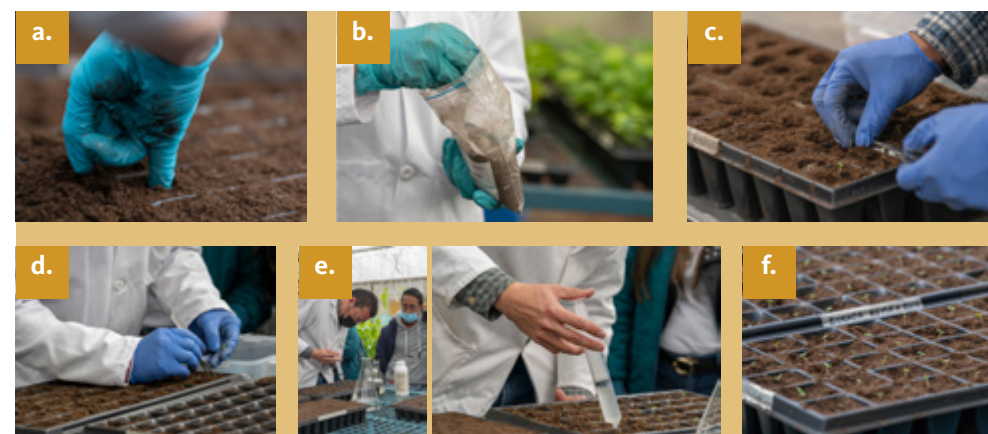


Figura 5.3. Trasplante de plántulas de uchuva e inoculación de microorganismos benéficos en bandejas de germinación. a. Llenado de materas; b. Inoculación con HFMA; c y d. Siembra de semilla pregerminada; e. Inoculación con BPCV; f. Bandejas de germinación.

Fotos: Gabriel David Roveda



Las plántulas se llevaron a campo cuando alcanzaron aproximadamente los 12 cm de altura (figura 5.4) y se sembraron en cada parcela. De acuerdo con el tratamiento se aplicaron los refuerzos de BPCV y se realizó la fertilización a partir del esquema planteado con productos comerciales.



Figura 5.4. Siembra de plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Granada, Cundinamarca. a. Preparación del lote; b. Plántulas de uchuva; c. Siembra y fertilización. Fotos: Gabriel David Roveda

Con una periodicidad de dos semanas a partir de la siembra en campo, se tomaron variables de desarrollo agrónómico, presencia de síntomas asociados a marchitamiento vascular por *F. oxysporum* y severidad de la enfermedad. A partir de los 195 días después de la siembra (dds) se tomaron variables de producción del cultivo (peso total de frutos por parcela y por planta, y destino de comercialización nacional-exportación) de forma semanal.

Efecto del manejo integrado del cultivo sobre el desarrollo del cultivo

Para la evaluación del desarrollo agrónómico del cultivo, se seleccionaron 10 plantas al azar por cada uno de los tratamientos bajo estudio, a las cuales se les tomó la altura desde el cuello de la raíz hasta el punto de unión del brote apical de la rama con mayor altura. Los resultados del desarrollo por cada uno de los materiales se presentan en la figura 5.5.

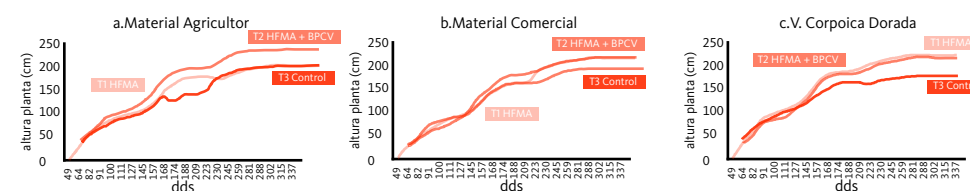


Figura 5.5. Desarrollo agrónómico de plantas de uchuva en tres materiales de siembra en el municipio de Granada bajo dos tratamientos de inoculación con microorganismos benéficos (T1: HFMA, T2: HFMA + BPCV) y un tratamiento de control (T3). a. Material agricultor; b. Material comercial; c. Variedad Corpoica Dorada.

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 5.5, en los tres materiales bajo evaluación, los tratamientos de inoculación presentaron un mejor desarrollo agrónómico de las plantas con respecto al tratamiento control, y mostraron diferencias estadísticamente significativas según el test de Tukey a los 145 y 281 dds (figura 5.6) para el material del agricultor y la variedad Dorada. En el material del agricultor, a los 281 dds las plantas inoculadas con la mezcla de microorganismos benéficos (T2) tuvieron un 17% más de altura, mientras que en el material comercial, a pesar de no tener diferencias significativas, las plantas de los tratamientos de inoculación tuvieron en promedio un 10% más de altura que el tratamiento de control. Las mayores diferencias en el desarrollo de la planta se obtuvieron en la variedad Dorada, en la cual los tratamientos de inoculación presentaron mejor desarrollo (22%) que las plantas control.

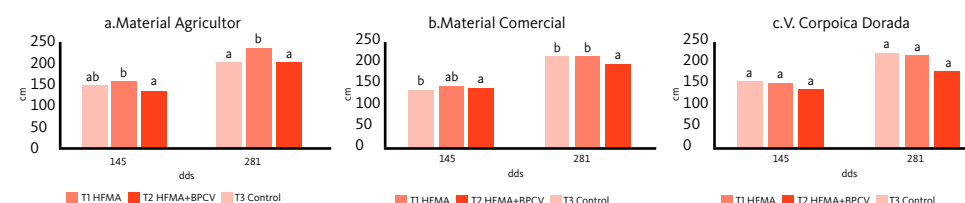


Figura 5.6. Desarrollo agrónómico de plantas de uchuva en tres materiales de siembra en el municipio de Granada, bajo dos tratamientos de inoculación con microorganismos benéficos (T1: HFMA, T2: HFMA + BPCV) y un tratamiento control (T3). a. Material agricultor; b. Material comercial; c. Variedad Corpoica Dorada. Test de Tukey ($p \leq 0,05$) a los 145 y 281 días después de la siembra. Nota: Letras diferentes significan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Fuente: Elaboración propia

Efecto del manejo integrado del cultivo de la uchuva sobre la severidad del marchitamiento vascular causado por *F. oxysporum*

A pesar de que en la actualidad no se cuenta con un control del marchitamiento vascular 100 % efectivo, algunas prácticas de manejo integrales como el uso de microorganismos benéficos, por ejemplo, los HFMA y las BPCV, pueden aportar significativamente en la mitigación del efecto que el patógeno *F. oxysporum* genera sobre las plantas de uchuva.

Durante la evaluación realizada en Granada, se tomaron variables de incidencia y severidad del desarrollo de la enfermedad desde el momento de la aparición de síntomas. En la figura 5.7, se presentan la evolución de la enfermedad entre los 112 y 272 días después de la siembra para el material del agricultor y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad, la cual fue analizada con la prueba de comparación de rangos múltiples de Tukey; con esto, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

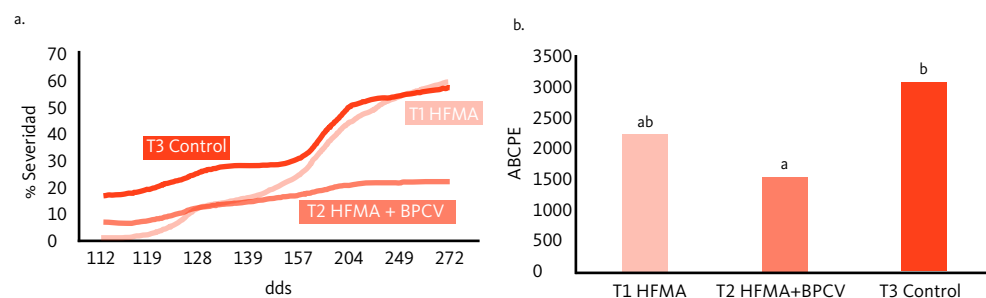


Figura 5.7. Evolución de la enfermedad de marchitamiento vascular en plantas de uchuva (material agricultor) en el municipio de Granada, Cundinamarca, bajo dos tratamientos de inoculación con microorganismos benéficos (T1: HFMA, T2: HFMA + BPCV) y un tratamiento control (T3). a. Porcentaje de severidad; b. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE).

Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 5.7, el tratamiento de control presentó hasta los 157 dds una mayor severidad de la enfermedad (plantas sintomáticas) que los tratamientos de inoculación; sin embargo, a partir de ese momento la severidad de la enfermedad mostró un drástico incremento en el tratamiento con HFMA y control, mientras que el tratamiento 2 con la mezcla de HFMA y BPCV evidenció incrementos moderados a lo largo de toda la evaluación. No obstante, el área bajo la curva del progreso de la enfermedad mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos, y el tratamiento de control fue el que presentó una mayor severidad. Para el caso del material del agricultor, los HFMA de forma individual (T1) tienen un porcentaje de severidad promedio 25% menor que el tratamiento control; por su parte, la mezcla de los dos microorganismos (T2) presenta un 55% menos de severidad que el control.

En el caso del material comercial (figura 5.8), el efecto de la inoculación con microorganismos benéficos en el control de la enfermedad de marchitamiento vascular fue más eficiente, con porcentajes de severidad de la enfermedad menores que el 30%, y el tratamiento más eficiente fue el T2, con la mezcla de HFMA y BPCV, con un 84% menos de severidad que el tratamiento control. En cuanto a los HFMA de forma individual, estos mostraron un 60% menos de severidad que el tratamiento control, sin diferencias significativas con la mezcla de los dos microorganismos en área bajo la curva del progreso de la enfermedad.



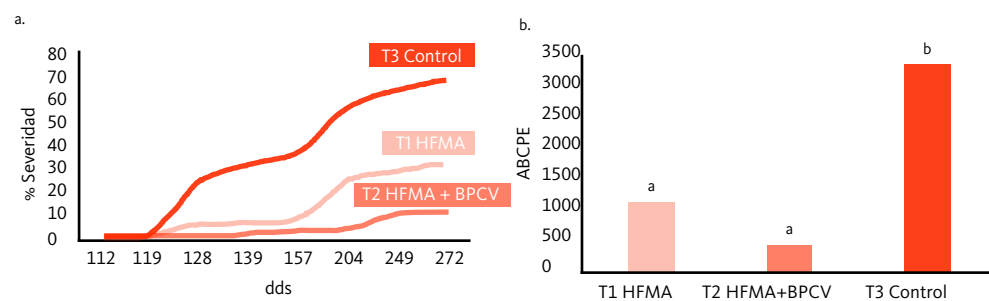


Figura 5.8. Evolución de la enfermedad de marchitamiento vascular en plantas de uchuva (material comercial) en el municipio de Granada, Cundinamarca, bajo dos tratamientos de inoculación con microorganismos benéficos (T1: HFMA, T2: HFMA + BPCV) y un tratamiento control (T3). a. Porcentaje de severidad; b. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE).

Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Para la variedad Dorada (figura 5.9), el tratamiento que presentó un menor porcentaje de severidad de la enfermedad fue T1, con la inoculación individual con HFMA. Esto mostró una mitigación del 87% del desarrollo de la enfermedad a los 272 dds y diferencias significativas en ABCPE con el testigo, mas no con el tratamiento con la inoculación doble con los dos microorganismos que redujeron la severidad de la enfermedad en un 57 % con respecto al tratamiento control.

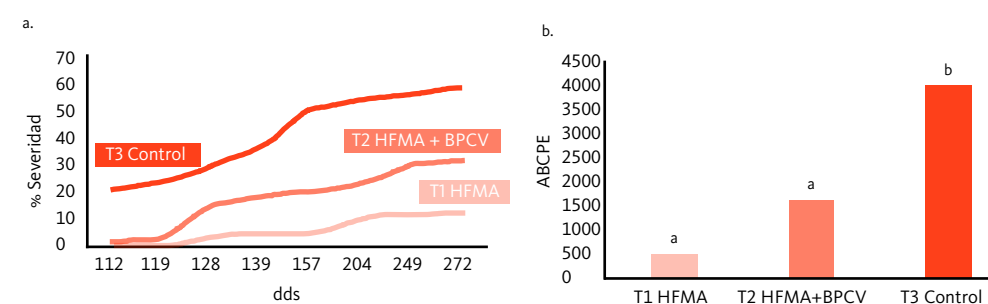


Figura 5.9. Evolución de la enfermedad de marchitamiento vascular en plantas de uchuva (variedad Corpoica Dorada) en el municipio de Granada, Cundinamarca, bajo dos tratamientos de inoculación con microorganismos benéficos (T1: HFMA, T2: HFMA + BPCV) y un tratamiento control (T3). a. Porcentaje de severidad; b. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE).

Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En términos generales, independientemente del material de siembra, la inoculación con microorganismos benéficos muestra un efecto positivo en la mitigación de la enfermedad causada por *F. oxysporum*. Se observaron reducciones de severidad de la enfermedad del 63 % con HFMA de forma individual y del 66 % con la mezcla, comparado con el tratamiento control. Esto muestra diferencias significativas en el área de la curva del progreso de la enfermedad, de acuerdo con la prueba de comparación de rangos múltiples de Tukey (figura 5.10).



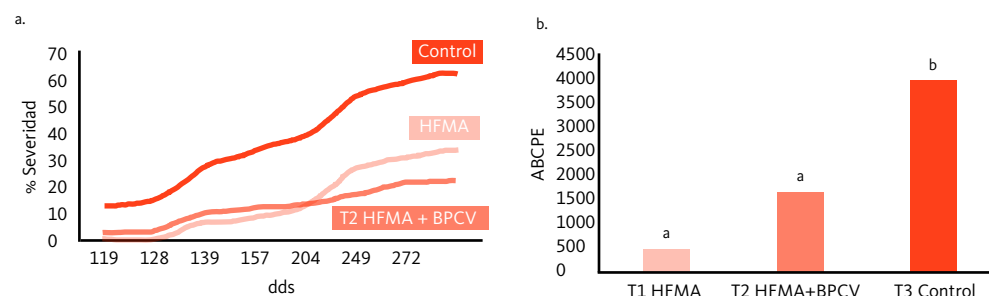


Figura 5.10. Evolución de la enfermedad de marchitamiento vascular en plantas de uchuva (tres materiales) en el municipio de Granada, Cundinamarca, bajo dos tratamientos de inoculación con microorganismos benéficos (T1: HFMA, T2: HFMA + BPCV) y un tratamiento control (T3). a. Porcentaje de severidad; b. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE).

Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Efecto del manejo integrado de la uchuva sobre la productividad del cultivo

La inoculación con microorganismos benéficos no solo tiene un efecto positivo en el desarrollo de la planta en términos de desarrollo agronómico, sino que además su uso representa una eficiencia nutricional con plantas más vigorosas y productivas. En términos generales, la producción del cultivo comenzó a los 195 días después de la siembra, con un promedio de 12 kg por tratamiento; para ese momento, el material del agricultor fue el que presentó un mejor promedio con 14,5 kg, seguido por la variedad Dorada con 13,4 kg y el material comercial con 8.6 kg.

Para los materiales del agricultor y comercial, el pico de producción se presentó aproximadamente a los ocho meses después de la siembra. En los dos casos, las plantas inoculadas con HFMA y HFMA + BPCV superaron la producción del tratamiento control (figuras 5.11a y 5.11b). Para el caso de la variedad Dorada, durante el ciclo de producción monitoreado se presentó una producción altamente fluctuante, con varios picos de producción: el primero aproximadamente a los siete

meses después de la siembra y el segundo entre los ocho y nueve meses después de la siembra, el tratamiento de control tuvo un tercer pico a los 10 meses después de la siembra (figura 5.11c).

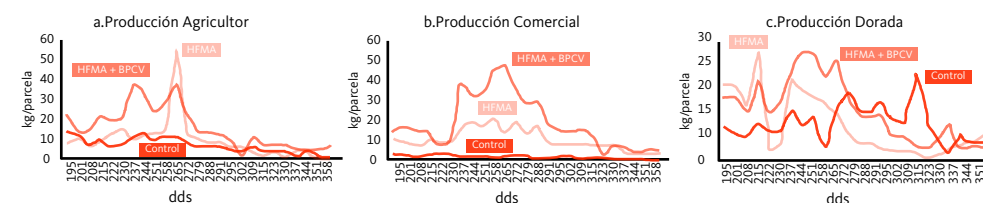


Figura 5.11. Producción de uchuva (kg), durante aproximadamente 12 meses de monitoreo bajo dos tratamientos de inoculación con microorganismos benéficos (HFMA -T1 y HFMA + BPCV - T2) y un tratamiento control (T3) en el municipio de Granada, Cundinamarca. a. Material agricultor; b. Material comercial; c. Variedad Corpoica Dorada.

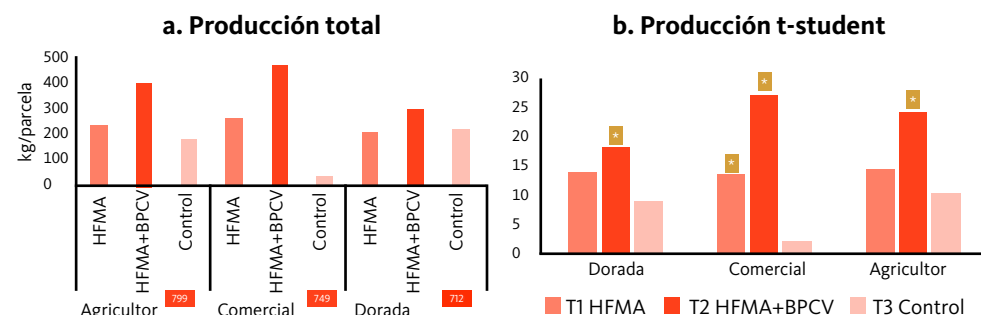
Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

La productividad del cultivo durante aproximadamente 12 meses de evaluación y monitoreo muestra un acumulado de 799 kg para el material del agricultor y 749 y 712 para el material comercial y la variedad Dorada, respectivamente. En los tres materiales bajo estudio, las mejores producciones se obtuvieron con las plantas inoculadas con la mezcla de los dos grupos funcionales de microorganismos (T2), seguidas por el tratamiento con HFMA de forma individual (T1) y el tratamiento de control. En promedio, para la variedad del agricultor, las plantas inoculadas con HFMA (T1) tuvieron un 34 % más de producción que el tratamiento de control, mientras que la mezcla duplicó la producción del control, con un porcentaje mayor que el 100 %. En el material comercial, el tratamiento control tuvo una muy baja productividad, que fue superada ampliamente por los tratamientos de inoculación (figura 5.12a). De acuerdo con los resultados conseguidos a través del test de T-Student y teniendo en cuenta el p-valor obtenido para cada variedad, con un nivel de significancia del 5%, se concluye que las medias muestrales difieren estadísticamente en los materiales. Esto se evidencia en la figura 5.12b, con diferencias de producción entre



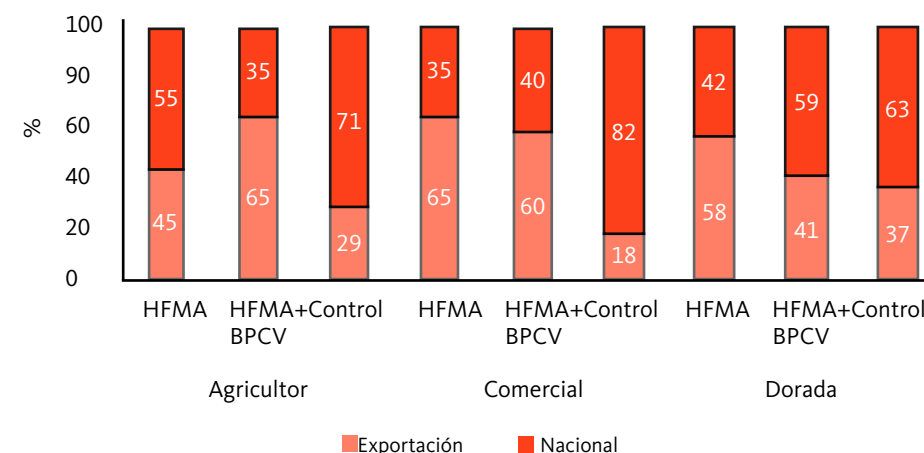
el tratamiento con la mezcla de HFMA y BPCV (T2), y el tratamiento de control (T3) en los tres materiales de siembra, y el tratamiento con HFMA individual (T1) en el material comercial.



Efecto del manejo integrado de la uchuva sobre la calidad de la producción

La productividad del cultivo se ve favorecida por la inoculación con microorganismos benéficos, lo cual se ve reflejado en la calidad de la producción. El cultivo de la uchuva en Colombia representa un gran interés por su alta demanda internacional, por lo que durante la evaluación realizada se diferenció la calidad de la producción teniendo en cuenta su destino de comercialización (fruta de calidad exportación, consumo nacional); esto representa para los productores de uchuva una ventaja en términos económicos.

Con los tres materiales de siembra bajo estudio, los tratamientos de control tuvieron un mayor porcentaje de la productividad para consumo nacional, mientras que para los microorganismos de forma individual (HFMA) y en consorcio (HFMA + BPCV) el mayor porcentaje de la fruta cosechada cumplió con las demandas internacionales y se categorizó con destino de exportación (figura 5.13).



Conclusiones

El uso de microorganismos benéficos y las prácticas agronómicas evaluadas favorecen el desarrollo agronómico del cultivo, y esto permite la sustitución parcial de fertilizantes de síntesis química, lo cual incrementa la productividad del cultivo y su calidad. Así, la mezcla de HFMA y BPCV, fue el tratamiento que mostró mejores resultados. Adicionalmente, el uso de estos microorganismos permite mitigar el impacto negativo que genera la presencia de *F. oxysporum* en el suelo y la enfermedad de marchitamiento vascular; de esta manera, la mezcla de los dos microorganismos es, de nuevo, la que permite un mayor control de la enfermedad.





Fotografía: Gabriel D. Roveda

Capítulo 6. Aproximación al control del moho gris en el cultivo de uchuva

Yimmy Alexander Zapata Narváez, Andrés Díaz García,

Camilo Rubén Beltrán Acosta

Introducción

El moho gris, enfermedad producida por el hongo *B. cinerea*, ha afectado cultivos de frutales, hortalizas u ornamentales en campo, en más de 250 especies vegetales (Grant Downton et al., 2014); esto lo convierte en uno de los patógenos de mayor impacto económico a nivel mundial (Dean et al., 2012). Sin embargo, uno de los aspectos más complejos para el manejo del moho gris es el establecimiento del hongo en los diferentes órganos vegetales, particularmente en las estructuras florales, en las cuales puede permanecer en un estado quiescente si las condiciones no son óptimas para su desarrollo. Por tanto, muchos frutos infectados son asintomáticos en el momento de su cosecha, y esto produce la enfermedad durante la poscosecha (Mason & Dennis, 1978).

En este contexto, el control del moho gris en campo es un factor crítico en cultivos como el de la uchuva, ya que las pérdidas están asociadas a procesos poscosecha durante la exportación que, dependiendo del mercado, requieren tiempos largos de transporte, por lo que es necesario asegurar la calidad sanitaria e inocuidad del fruto.

El productor de uchuva en Colombia cuenta con diferentes herramientas de manejo para mitigar el impacto del moho gris; por ejemplo, el manejo cultural mediante la eliminación de restos de material vegetal, podas adecuadas y una correcta densidad de siembra y tutorado para facilitar la ventilación de las plantas; asimismo, el control biológico mediante la aplicación de bioproductos, cuyo ingrediente activo son microorganismos benéficos que presentan diferentes mecanismos de acción que



incluyen la colonización foliar y la inhibición del patógeno mediante la producción de metabolitos antifúngicos, parasitismo o estimulación de respuestas de defensa y el control químico mediante el uso racional de fungicidas químicos, procurando no generar resistencia del patógeno a estos y residualidad en la fruta.

Sin embargo, en Colombia no existen esquemas de manejo de *B. cinerea* en uchuva que repercutan en su poscosecha; por lo tanto, en la ejecución de este proyecto, se evaluó la eficacia de los bioinsumos Tricotec® WG, Nalev WG y Natibac® SC, desarrollados por AGROSAVIA en el control del moho gris, con el propósito de generar estrategias de manejo integrado de la enfermedad.

Establecimiento de una línea base para determinar la incidencia del moho gris en frutos a partir de infecciones quiescentes de *B. cinerea*

Para determinar el porcentaje de fruta que puede afectar *B. cinerea* durante la poscosecha, se planteó construir una línea base. Para esto, se tomaron muestras de 100 frutos maduros con capacho de aspecto sano (ausencia de signos o síntomas de algún tipo de patología) de cuatro cultivos ubicados en Cundinamarca: uno en el municipio de Ubaté (vereda La Patera), otro en Sutatausa (vereda Hato viejo) y dos en el municipio de Granada (vereda La Veintidós sector alto y La Veintidós sector bajo), empacando los frutos en bolsas de papel y transportándolos en neveras de poliestireno expandido para su posterior análisis en el Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

En laboratorio, los frutos por cultivo se colocaron dentro de copas plásticas de 1,7 onzas y estas se dispusieron en recipientes plásticos sellados de 14,5 x 24 x 36,5 cm (15 copas por cada caja), simulando cámaras húmedas (humedad relativa $\geq 90\%$). Estas últimas se almacenaron en un cuarto de bioensayo a 22°C durante siete días (figura 6.1); después de este tiempo, se registró la incidencia de moho gris,

así como de otras patologías relacionadas con el deterioro de la fruta durante la poscosecha. El porcentaje de incidencia se calculó empleando la siguiente fórmula: porcentaje de incidencia = (frutos con moho gris / frutos totales) * 100. Los datos se examinaron mediante un análisis de varianza y las medias por medio de una prueba LSD de Fisher ($P > 0,05$), empleando el software Statistix 10.0.



Figura 6.1. Cámaras húmedas con frutos cosechados a. Frutos en copas plásticas; b. Frutos en recipientes plásticos.
Foto: Yimmy Alexander Zapata Narváez

Resultados y discusión

En todos los cultivos muestreados, la incidencia del moho gris fue alta, pues presentó valores entre el 88 % y el 100 %; además, se observó, de forma simultánea, incidencia de moho blanco producido por *S. sclerotiorum* con valores del 40 % al 76 % (figura 6.2).



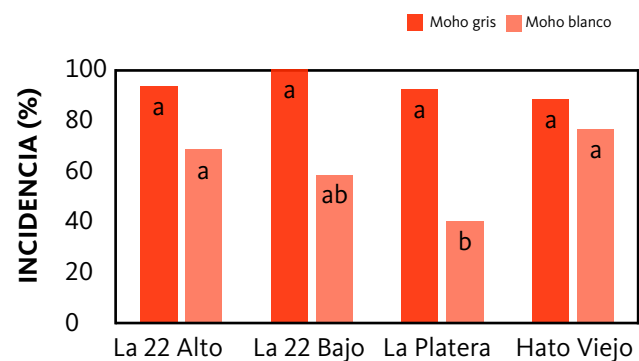


Figura 6.2. Incidencia del moho gris y del moho blanco en frutos de uchuva cosechados en cultivos de los diferentes municipios de Cundinamarca. Nota: Columnas con la misma letra no son significativamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Fisher LSD (significancia del 5%). Fuente: Elaboración propia

Las condiciones en las que se almacenaron las cámaras húmedas favorecieron la expresión de enfermedades que posiblemente afecten la poscosecha y las cuales permitieron determinar el porcentaje de fruta que puede ser afectada. También se demostró la susceptibilidad del fruto de uchuva a las infecciones quiescentes de *B. cinerea* (figuras 6.3 y 6.4). Sin embargo, en condiciones comerciales, la incidencia del moho gris u otras patologías no alcanza estos porcentajes, dado que la fruta usualmente pasa por un proceso poscosecha de secado de capacho, en el cual su humedad se reduce mediante el paso de aire a temperaturas entre 18°C y 25°C por periodos de hasta 36 horas. Esto disminuye la germinación de infecciones quiescentes, pero que no las elimina totalmente, pues algunas se manifiestan durante el transporte de la fruta, lo que provoca pérdidas y el rechazo hacia la fruta (Ávila et al., 2006; Novoa et al., 2006).

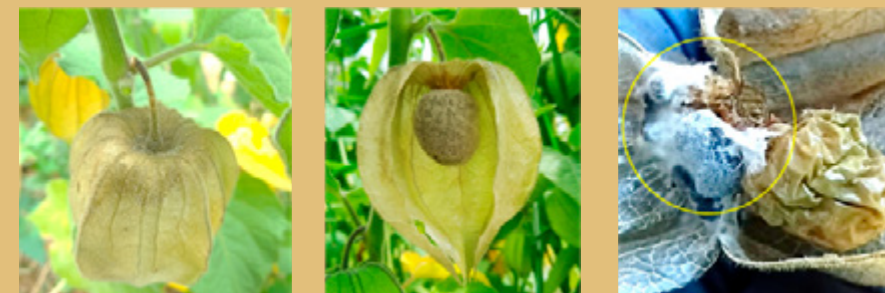


Figura 6.3. Frutos de uchuva con síntomas de infecciones quiescentes. a y b. Síntomas de moho gris en campo; c. Fruto con esclerocio de *S. sclerotiorum*. Fotos: Yimmy Alexander Zapata Narváez

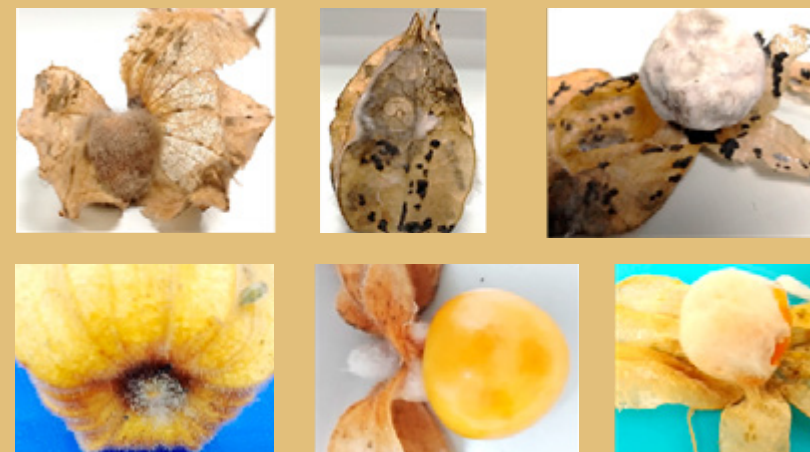


Figura 6.4. Signos de moho gris en frutos de uchuva siete días después de su incubación en cámaras húmedas. Foto: Yimmy Alexander Zapata Narváez



Evaluación de alternativas para el control de *B. cinerea* en campo

Se estableció una parcela experimental con 220 plantas de la variedad Corpoica Dorada (Sánchez Betancourt et al., 2016) en un predio de la vereda La Veintidós sector alto, del municipio de Granada (Cundinamarca) a 1.800 m s. n. m. En la etapa de semillero, se aplicó el inoculante biológico Natibac® SC (*B. amyloliquefaciens* Bs006) a una concentración de 1×10^8 UFC / mL, y en campo se aplicó en *drench* en la siembra, siete y quince días después de esta, como estrategia para promover el crecimiento de las plántulas y la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Beltrán-Acosta et al., 2022). La fertilización química se realizó siguiendo un esquema establecido de acuerdo con el análisis químico del suelo.

Además, se evaluaron cinco tratamientos (tabla 6.1), seleccionados por sus antecedentes en el control de *B. cinerea*; estos se aplicaron foliarmente por medio de aspersión, empleando bombas de espalda después de que las plantas empezaran a producir fruta (aproximadamente seis meses después de la siembra).

Tabla 6.1. Tratamientos evaluados para el control del moho gris

Tratamiento	Dosis y concentración de aplicación
Tricotec WG (<i>Trichoderma koningiopsis</i> Th003)	1 g / L - 1×10^6 conidios / mL
Nalev WG (<i>Rhodotorula mucilaginosa</i> Lv316)	2 g / L - 1×10^7 células / mL
Natibac SC (<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> Bs006)	50 mL / L - 1×10^8 UFC / mL
Bioestimulante con oligosacarinas y glutatión Extracto de <i>Swinglea glutinosa</i>	1 mL / L 1.5 mL / L
Fungicida con ingrediente activo Azoxystrobin y difenoconazol fungicida con ingrediente activo pirimetanil	1.5 mL / L 2 mL / L

Nota: Se presentan los ingredientes activos de productos comerciales
Fuente: Elaboración propia

Se hicieron cinco aplicaciones con una frecuencia de 15 días y después de la tercera aplicación, una semana después de cada repetición por tratamiento, se tomaron 30 frutos maduros; se empaquetaron en bolsas de papel y se transportaron en neveras de poliestireno expandido para su análisis en el laboratorio. En dicho análisis, por repetición se tomaron 15 frutos con capacho y se ubicaron en una cámara húmeda en las condiciones anteriormente mencionadas durante siete días; también se tomaron 15 frutos, a los que se les retiró el capacho y se pusieron en bolsas de papel.

El bioensayo se estableció a partir de un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en dos surcos de cinco plantas cada uno para un total de diez plantas por unidad experimental y un total de 30 plantas por tratamiento, separando los tratamientos por un surco de plantas sin tratar; como control, se tomó la fruta de un cultivo cercano sembrado al mismo tiempo, bajo las mismas condiciones y la misma variedad vegetal, sin aplicaciones de productos para el control de enfermedades foliares. La variable evaluada fue la incidencia del moho gris. Por tratamiento se totalizaron los frutos sanos y enfermos, y se determinó el porcentaje de incidencia utilizando la fórmula mencionada anteriormente. Los datos se examinaron mediante un análisis de varianza y las medias mediante una prueba LSD de Fisher (significancia del 5%) empleando el software Statistix 10.0. La eficacia en el control del moho gris se calculó utilizando la fórmula de Abbott: porcentaje de eficacia = $((Cd - Td)/Cd) \times 100$, donde Cd = incidencia en el control y Td = incidencia por tratamiento (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI] e Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2015).

Adicionalmente, en el último muestreo de cada tratamiento se cosecharon aproximadamente 800 g de fruta, asegurándose de formar una muestra compuesta representativa de acuerdo con el protocolo de selección de muestra establecido por el laboratorio Primoris, y a las cuales se les realizó el análisis de residualidad de plaguicidas mediante cromatografía líquida y espectrofotometría de masas



(LC-MS); esto, con el fin de comparar, aparte de la eficacia en el control del moho gris, su efecto en la residualidad de fungicidas en la fruta.

Las primeras semanas durante las cuales se inició la cosecha se presentó un periodo de lluvias que pudo influir en la incidencia del moho gris; en este tiempo, se observaron los mayores valores de incidencia de la enfermedad en todos los tratamientos. A diferencia del control, con una incidencia media del 83%, en todos los tratamientos la incidencia disminuyó con el tiempo, y se evidenció algún nivel de control de la enfermedad; se destacan las aplicaciones de Tricotec® WG y Nalev® WG, que presentaron una incidencia entre el 48% y 51%, respectivamente. Sin embargo, el tratamiento químico con una incidencia media del 55% presentó al final de la evaluación la menor incidencia de la enfermedad, con un 10% (figura 6.5).

La mayor eficacia en el control del moho gris se dio con las aplicaciones de Tricotec® WG y Nalev® WG, con un 42% y un 39%, respectivamente; no obstante, con un 34%, el tratamiento con Oligosacarinas y glutatión (OG) mostró un buen comportamiento, lo cual plantea la posibilidad de integrar estos extractos en estrategias de manejo de la enfermedad (figura 6.6).

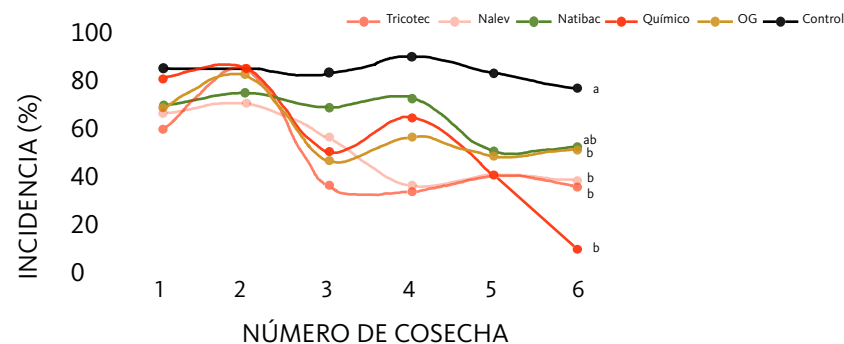


Figura 6.5. Incidencia semanal del moho gris en la fruta cosechada por tratamiento. Nota: Columnas con la misma letra no son significativamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Fisher LSD (significancia del 5%). Fuente: Elaboración propia

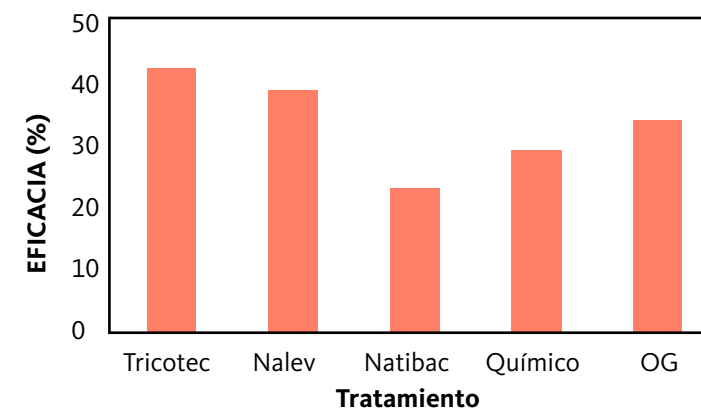


Figura 6.6. Eficacia de los tratamientos para el control del moho gris en frutos de uchuva después de 75 días de evaluación. Fuente: Elaboración propia

Respecto a la incidencia del moho gris en los frutos sin capacho, solo se presentó la enfermedad en los tratamientos biológicos, lo que corresponde al 1,4% de un fruto afectado durante todo el periodo de evaluación (figura 6.7).

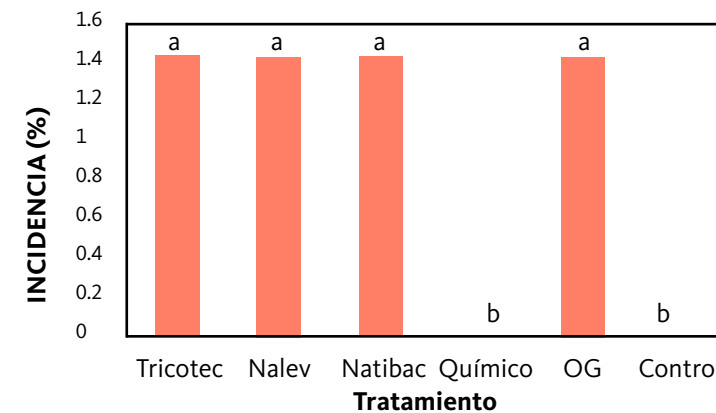


Figura 6.7. Incidencia del moho gris por tratamiento en los frutos de uchuva sin capacho. Nota: Columnas con la misma letra no son significativamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Fisher LSD (significancia del 5%). Fuente: Elaboración propia



Al retirar el capacho de la fruta previo a su almacenamiento, la incidencia del moho gris no superó el 2%; es probable que las infecciones quiescentes de *B. cinerea* o de *S. sclerotiorum*, en su mayoría, se produzcan en el capacho y de este el patógeno, debido a su desarrollo, pasa al fruto. El capacho es una estructura que protege al fruto del ambiente, incluyendo patógenos, pero con su senescencia y en un ambiente con una alta humedad relativa las infecciones quiescentes se activan y los patógenos se desarrollan y deterioran el fruto.

Todos los tratamientos redujeron la incidencia del moho gris, pero se destacan las aplicaciones de Tricotec® WG y Nalev®, que dieron resultados similares a los reportados con el cultivo de mora, en el cual la aplicación de los bioplaguicidas cada 15 días presentó una eficacia del 60 %, cifra superior a la que se obtuvo con procloraz (58%) o carbendazim (27%) (Zapata Narváez & Cotes, 2013). *B. cinerea* es un patógeno susceptible a la ausencia de nutrientes, factor que limita la germinación de conidios, la formación del tubo germinal y la infección (Elad, 1996). Así, la aplicación de *T. koningiopsis* y *R. mucilaginosa*, que dentro de sus modos de acción presentan la competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo y antibiosis, pudo reducir la infección de *B. cinerea* en el capacho (Freimoser et al., 2019; Moreno Velandia et al., 2020).

En cuanto a la rotación en cuanto a la rotación de insumos con ingredientes activos de Oligosacarinas y glutation y extracto de *S. glutinosa*, con una eficacia del 34%, esta mostró ser una alternativa para incluir en el manejo de la enfermedad; un ejemplo de esto fue la reducción del 65% en la incidencia del moho gris que se presentó al alternar sus aplicaciones con Tricotec® WG en el cultivo de mora (Zapata Narváez & Beltrán-Acosta et al., 2019) o en el control del mildew velloso en mora, en rotación con bioplaguicidas a base de *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*, un extracto de semillas de cítricos y fungicidas a base de cobre (Boyzo-Marín et al., 2015). El bioestimulante que contiene oligosacarinas y glutatión, moléculas

que actúan como elicitores asociados a la estimulación de respuestas de defensa (Enríquez-Guevara et al., 2010).

Respecto al control químico, usualmente este es la primera alternativa para tener presente, ya que cuenta con un alto nivel de control; no obstante, su efectividad a largo plazo dependerá de una adecuada rotación de principios activos, considerando grupo químico, mecanismos de acción y residualidad. Es importante pensar no solo en reducir el riesgo de aparición de cepas de *B. cinerea* resistentes o multirresistentes a los fungicidas utilizados (Weber, 2011; Amiri et al., 2013; FRAC, 2019), sino también en la residualidad de estos en la fruta, ya que a pesar de haber realizado la aplicación de Azoxystrobin y difenoconazol más de 30 días antes de la cosecha de la fruta para los estudios de residualidad, se encontraron trazas de difenoconazol, y de Pirimetanil, principio activo de uno de los fungicidas empleados. Sin embargo, este último se aplicó una semana antes de la cosecha de la fruta, pero de acuerdo con el Codex Alimentarius se ajustan a los límites máximos de residuos para *berries* (tabla 6.2).

Tabla 6.2. Residuos de plaguicidas obtenidos en la fruta cosechada por tratamiento

Tratamiento	Molécula encontrada	mg/Kg	Tolerancia mg/Kg
Tricotec WG	-----	-----	-----
Nalev WG	-----	-----	-----
Natibac	-----	-----	-----
ECO	-----	-----	-----
Químico	Difenoconazol Pirimetanil	0,020 0,019	0,01 0,01

Fuente: Elaboración propia



Dinámica de las poblaciones de antagonistas en la filosfera

A partir de la segunda aplicación de los tratamientos y previo a su aspersión, de cada repetición se tomaron diez hojas, las cuales se empacaron en bolsas de papel y se transportaron en una nevera de poliestireno expandido para su análisis en el laboratorio. Después se cortaron las hojas en trozos de 1 cm de diámetro utilizando un sacabocado de acero inoxidable estéril, se tomaron 10 g y se dispusieron en Erlenmeyers con 90 mL de Tween 80 al 0,1% (suspensión madre), y se dejaron en agitación constante a 150 rpm durante una hora. Luego, se realizó una dilución 1 en 10, agitándolas en un agitador vórtex y de estas se tomaron 100 μ L y se dispusieron en cajas Petri (tres cajas por dilución), las cuales contenían agar rosa de bengala para *T. koningiopsis* Th003, agar extracto de malta para *R. mucilaginosa* Lv316 y agar Luria Bertani para *B. amyloliquefaciens* Bs006, respectivamente; además, se distribuyeron homogéneamente con un rastrillo de acero inoxidable. Las cajas se incubaron a 28°C durante 48 horas para la bacteria y a 25°C para la levadura y el hongo durante 48 horas y 5 días, respectivamente. Después de este tiempo se contaron las unidades formadoras de colonia (UFC) y los resultados fueron reportados como UFC/g de foliolo expresado como Log (UFC/g).

Las poblaciones de los antagonistas en la filosfera permanecieron constantes entre aplicaciones. Para *T. koningiopsis* Th003, se obtuvieron recuentos de 1×10^3 UFC/g, con una reducción aproximada de tres exponentes entre aplicaciones, mientras que para *R. mucilaginosa* Lv316 y *B. amyloliquefaciens* Bs006 los recuentos estuvieron en el orden de 1×10^5 UFC/g, con una reducción aproximada de dos exponentes (figura 6.8).

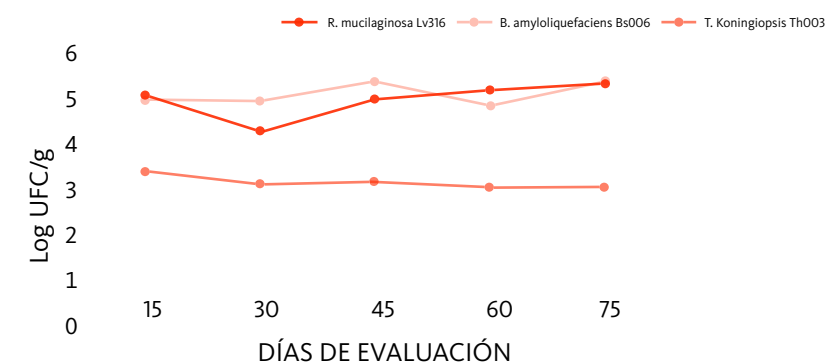


Figura 6.8. Dinámica de la población de los antagonistas principio activo de los bioplaguicidas durante el periodo de evaluación.
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las concentraciones recuperadas entre muestreos, se puede establecer que los antagonistas se adaptaron y colonizaron la filosfera. Es necesario tener en cuenta que al introducir microorganismos a un ambiente, y particularmente a la filosfera, una parte del inóculo prospera a pesar del estrés biótico o abiótico producido, entre otros, por productos usados para la fitoprotección, la competencia por espacio y los nutrientes con microorganismos nativos, la temperatura, la humedad o la radiación solar; sin embargo, después de un periodo de adaptación la población establecida se mantuvo, pero para que estas poblaciones ejerzan una actividad de control más significativa es necesario aumentar sus poblaciones en el tiempo (Andrews, 1992; Andrews & Harris, 2000).

En el caso particular de los agentes de control biológico, su permanencia en la filosfera es esencial, dado que si no se adaptan y colonizan no podrán realizar su actividad de control. Para el caso de *T. koningiopsis* Th003, *R. mucilaginosa* Lv316 y *B. amyloliquefaciens* Bs006, los recuentos obtenidos concuerdan con las concentraciones en las que estos microorganismos pueden encontrarse en la filosfera de una gran variedad de plantas (Lindow & Brandl, 2003).





Consideraciones finales

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que la integración del uso de los bioplaguicidas en estrategias de manejo integrado en el cultivo de uchuva surge como una alternativa que contribuye a su sostenibilidad, ya que su alternancia con fungicidas químicos reduciría el número de sus aplicaciones y el número de principios activos utilizados; esto disminuye el riesgo de aparición de morfotipos de *B. cinerea* resistentes o multirresistentes a fungicidas, así como de los residuos de fungicidas en la fruta cosechada. Para esto, por ejemplo, el bioplaguicida *T. koningiopsis* cuenta con registro del ICA para su uso en los cultivos de arándanos, fresa, mora y ornamentales, como rosa para el control de *B. cinerea* y en el cultivo de lechuga para el control de *S. sclerotiorum* y *Sclerotinia minor*, patógenos relacionados con el cultivo (Moreno et al., 2020) y *R. mucilaginosa* Lv316 se ha evaluado con eficacia en el control de *B. cinerea* en el cultivo de mora y en el cultivo de rosas.





Fotografía: Gabriel D. Roveda

Acuña C., J. F. (2010). *Uchuva (Physalis peruviana L.): innovación y desarrollo para la exportación.* MinAgricultura. <http://biblioteca.minagricultura.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=22955>

Aguilar Armijos, J. S. (2020). Identificación del hongo fitopatógeno *Phoma* spp. aislado a partir de plantas de uvilla (*Physalis peruviana* L.) en localidades de zona norte y centro-norte de la serranía ecuatoriana [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/18033/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n%20%2811%29.pdf>

Agronet. (2019). *Estadísticas agropecuarias.* <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Páginas/default.aspx>

Almanza, P., & Fischer, G. (2012). Fisiología del cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). En *II Reunião Técnica da Cultura da Physalis* (pp. 32-52). UDESC.

Álvarez-Herrera, J., Fischer, G., & Vélez, J. E. (2021). Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cosechas en invernadero con diferentes láminas de riego. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(174), 109-121. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1239>

Álvarez, J., Fischer, G., & Vélez, J. (2015). Producción de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio. *Revista Colombiana de Ciencias hortícolas*, 9(2), 222-233. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i2.4177>

Amiri, A., Heath, S. M. & Peres, N. A. (2013). Phenotypic characterization of multifungicide resistance in *Botrytis cinerea* isolates from strawberry fields in Florida. *Plant Dis.* 97 (3), pp 393-401. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-12-0748-RE>

Andrews, J. H. (1992). Biological control in the phyllosphere. *Annual Review of Phytopathology*, 30, 603-635. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.30.090192.003131>

Andrews, J. H., & Harris, R. F. (2000). The ecology and biogeography of microorganisms on plant surfaces. *Annual Review of Phytopathology*, 38, 145-180. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.38.1.145>

Angulo, R. (2000). Siembra, soporte y poda de formación. En V. Flórez, G. Fisher, & A. Sora (Eds.), *Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.)*. (pp. 41-50). Universidad Nacional de Colombia

Angulo, R. (2011). *Uchuva Physalis peruviana*. Bayer CropScience.



Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI], & Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). *Manual para elaboración de protocolos para ensayos de eficacia con PQUA*.
<https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/regulacion-y-control-de-plaguicidas-quimicos/manual-protocolos-ensayos-eficacia-pqua-1.aspx>

Aveskamp, M. M., De Gruyter, J., Woudenberg, J. H. C., Verkley, G. J. M., & Crous, P. W. (2010). Highlights of the Didymellaceae: A polyphasic approach to characterise *Phoma* and related pleosporalean genera. *Studies in Mycology*, 65(1), 1-60.
<https://doi.org/10.3114/sim.2010.65.01>

Ávila, J. A., Moreno, P., Fischer, G., & Miranda, D. (2006). Influencia de la madurez del fruto y del secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.), almacenada a 18 °C. *Acta Agronómica*, 55(4), 29-37.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169920333005>

Barbosa J. D. (2013). *Identificación y descripción sintomatológica de la marchitez vascular causada por Fusarium oxysporum en uchuva (Physalis peruviana)* [Tesis de pregrado, Universidad de Cundinamarca].

Beltrán-Acosta, C. R., Zapata-Narváez, Y. A., Millán-Montaña, D. A., & Díaz-García, A. (2022). Effect of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Pseudomonas migulae* on the growth of gooseberry (*Physalis peruviana* L.) seedlings: Rizobacterias promotoras en plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 50669.
<https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50669>

Betancur, E., García Valencia, E., Arroyave Tobón, I., Giraldo, M., Quejada Rovira, O., & Tamayo Arango, R. (2014). *Manual técnico del cultivo de uchuva bajo buenas prácticas agrícolas*. Gobernación de Antioquia.

Berdugo Cely, J. A., Enciso Rodríguez, F., González Almario, C., & Barrero Meneses, L. E. (2015). Variabilidad genética de parentales y poblaciones F1 inter e intraespecíficas de *Physalis peruviana* L. y *P. floridana* Rydb. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(1), 179-192.
<http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-002/14>

Bertsch, F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

Blanco Valdés, Y. (2016). El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 34-56.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10964.19844>

Bonfante, P., & A. Genre, A. (2008). Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary developmental perspective. *Trends in Plant Science*, 13(9), 492-498.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.07.001>

Boyzo-Marín, J., Silva Rojas, H. V., & Rebollar-Alviter, A. (2015). Biorational treatments to manage dry berry of blackberry caused by *Peronospora sparsa*. *Crop Protection*, 76, 121-126.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.023>

Campos, A. (2000). Manejo del riego. En V. Flórez, G. Fischer, & A. Sora (Eds.), *Producción, poscosecha y exportación de uchuva (Physalis peruviana L)* (pp. 51-56). Universidad Nacional de Colombia.

Cardona, W. A., Martínez Camelo, F. E., & Bolaños Benavides, M. M. (2021). *Guía de buenas prácticas agrícolas (BPA): Normas Global GAP e ICA*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404616>

Caro-Quintero, A., & Ochman, H. (2015). Assessing the Unseen Bacterial Diversity in Microbial Communities. *Genome Biology and Evolution*, 7(12), 3416-3425.
<https://doi.org/10.1093/gbe/evv234>

Casierra-Posada, F., & Fischer, G. (2012). Poda de árboles frutales. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 169-185). Produmédios,

Chehri, K., Ghasempour, H. R., & Karimi, N. (2014). Molecular phylogenetic and pathogenetic characterization of *Fusarium solani* species complex (FSSC), the cause of dry rot on potato in Iran. *Microbial Pathogenesis*, 67-68, 14-19.
<https://doi.org/10.1016/j.micpath.2014.01.002>

Codex Alimentarius. (2023). Límites Máximos de Residuos. En:
https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/pesticide-detail/es/?p_id=224

Collins, C. H., & Lyne, P. M. (1989). *Métodos microbiológicos*. Acribia.

Consodine, J., & Brown, K. (1981). Physical aspects of fruit growth. Theoretical analysis of distribution of surface growth forces in fruit in relation to cracking and splitting. *Plant Physiology*, 68(2), 371-376.
<https://doi.org/10.1104/pp.68.2.371>

Cotes, A. M., Jiménez, P., Rodríguez, M. X., Díaz, A., Zapata, J., Gómez, M., Grijalba, E., Villamizar, L., González, C., Smith, A., Mejía, C., Mesa, P., & Cruz, L. C. (2012). *Estrategias de control biológico de Fusarium oxysporum en el cultivo de la Uchuva (Physalis peruviana)*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria (Corpoica).

Crinò, P., Lo Bianco, C., Rouphael, Y., Colla, G., Saccardo, F., & Paratore, A. (2007). Evaluation of Rootstock Resistance to *Fusarium* Wilt and Gummy Stem Blight and Effect on Yield and Quality of a Grafted 'Inodorus' Melon. *HortScience*, 42(3), 521-525.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.3.521>

De Valk, H. A., Meis, J. F., Bretagne, S., Costa, J. M., Lasker, B. A., Balajee, S. A., Pasqualotto, A. C., Anderson, M. J., Alcázar-Fuoli, L., Mellado, E., & Klaassen, C. H. (2009). Interlaboratory reproducibility of a microsatellite-based typing assay for *Aspergillus fumigatus* through the use of allelic ladders: proof of concept. *European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 15(2), 180-187.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2008.02656.x>



Dean, R., Van Kan, J. L., Pretorius, Z. A., Hammond-Kosack, K. E., Di Pietro, A., Spanu P. D., & Foster Gary D. (2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(4), pp 414-430.
<https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>

Debourgogne, A., Gueidan, C., Hennequin, C., Contet-Audonneau, N., De Hoog, S., & Machouart, M. (2010). Development of a new MLST scheme for differentiation of *Fusarium solani* Species Complex (FSSC) isolates. *Journal of Microbiological Methods*, 82(3), 319-323.
<https://doi.org/10.1016/j.mimet.2010.07.008>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2016). *Tercer Censo Nacional Agropecuario*.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]. (2013). *Natural Resources Conservation Service*.
<https://plants.usda.gov/home/classification/55294>

Di Pietro, A., Madrid, M. P., Caracuel, Z., Delgado-Jarana, J., & Roncero, M. I. G. (2003). *Fusarium oxysporum*: Exploring the molecular arsenal of a vascular wilt fungus. *Molecular Plant Pathology*, 4(5), 315-325.
<https://doi.org/10.1046/j.1364-3703.2003.00180.x>

Díaz-García, A., García-Riaño, J., & Zapata-Narárez, J. (2015a). Improvement of sporulation conditions of a new strain of *Bacillus amyloliquefaciens* in liquid fermentation. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6(4), 302-310.
<https://doi.org/10.4236/abb.2015.64029>

Díaz, A., García, J., & Mejía, C. (2015b). Development and application of a scale up strategy for the production of native strain of *Bacillus amyloliquefaciens*. En A. T. Caldeira, A. Candeias, A. Pereira, & M. Rosario (Eds.), *MicroBiotec 15 Congress of Biotechnology and Microbiology*. Greca.

Elad, Y. (1996). Mechanisms involved in biological control of *Botrytis cinerea* incited diseases. *European Journal of Plant Pathology*, 102(8), 719-732.
<https://doi.org/10.1007/BF01877146>

Enciso-Rodríguez, F. E., González, C., Rodríguez, E. A., López, C. E., Landsman, D., & Barrero, L. S. (2013). Identification of immunity related genes to study the *Physalis peruviana* - *Fusarium oxysporum* pathosystem. *PloS One*, 8(7), e68500.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068500>

Enríquez-Guevara, E. A., Aispuro-Hernández, E., Vargas-Arispuro, I., & Martínez-Téllez, M. A. (2010). Oligosacarinas derivadas de pared celular: Actividad biológica y participación en la respuesta de defensa de plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28(2), 144-155.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092010000200007&lng=es

Fischer, G. (1989). Aspectos fisiológicos del desarrollo de la uchuva *Physalis peruviana* L. En *Memorias IV Seminario Nacional Recursos Vegetales Promisorios* (pp. 9-19). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Fischer, G. (2000). Crecimiento y desarrollo, Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Bogotá: Unibiblos.

Fischer, G. (2005). El problema del rajado del fruto de la uchuva y su posible control. En G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahíta, & J. Romero (Eds.), *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.) en Colombia* (pp. 55-82). Universidad Nacional de Colombia.

Fischer, G., & Angulo, R. (1999). Los frutales de clima frío en Colombia. La uchuva. *Ventana al Campo Andino*, 2(1), 3-6.

Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 1-15.
<https://doi.org/10.1590/0100-2945-441/13>

Fischer, G., & Melgarejo, L. M. (2014). Ecofisiología de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). En C. P. Carvalho, & D. A. Moreno (Eds.), *Physalis peruviana: fruta andina para el mundo* (pp. 31-47). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

Fischer, G., & Miranda, D. (2012). Uchuva (*Physalis peruviana* L.). En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 851-873). Produmedios.

Fischer, G., Miranda, D., Piedrahita, W., & Romero, J. (Eds.). (2005). *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.

Flórez, V., Fischer, G., & Sora, Á. (Eds.). (2000). Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Universidad Nacional de Colombia.

Flórez Martínez, D. H., & Betancourt Vázquez, M. (2016). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Flórez Martínez, D. H. & Contreras, C. A. (2014). *Observatorio del sistema nacional de ciencia y tecnología agroindustrial: análisis de producto uchuva*. Siembra.

Forero de La-Rotta, M. C. (2014). Enfermedades de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). En C. P. Pássaro Carvalho (Ed.), *Physalis peruviana L.: fruta andina para el mundo* (pp. 49-78). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

Freimoser, F. M., Rueda-Mejía, M. P., Tilocca, B., & Migheli, Q. (2019). Biocontrol yeasts: mechanisms and applications. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 10(154), 2-19.
<https://doi.org/10.1007/s11274-019-2728-4>



Fungicide Resistance Action Committee – FRAC. (2019). Clasificación de fungicidas y bactericidas según el modo de acción. FRAC España 25p.
https://fmcagro.es/img/folleto_Clasificaci%C3%B3n%20de%20fungicidas%20y%20bactericidas%20seg%C3%BAn%20el%20modo%20de%20acci%C3%B3n.pdf

Galvis, J., Fischer, G., & Gordillo, O. (2005). Cosecha y poscosecha de la uchuva. En G. bFischer, D. Miranda, W. Piedrahita, & J. Romero (Ed.), *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia* (pp. 165-190). Universidad Nacional de Colombia.

García-Arias, F. L., Osorio-Guarín, J. A., & Núñez Zarrantes, V. M. (2018). Association Study Reveals Novel Genes Related to Yield and Quality of Fruit in Cape Gooseberry (*Physalis Peruviana L.*). *Frontiers in Plant Science*, 9, 1-16.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00362>

García-Arias, F., Sanchez-Betancourt, E., Mayorga Cubillos, F., Rodríguez Puertas, D., and Núñez Zarrantes, V. Genotype by environment interaction of advanced Cape gooseberry Genotypes for fruit yield and related traits in Colombia. Sometido.

Gerdemann, J. W., & Nicolson. (1963). Spores of Mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235-244.
[https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)

Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie).

Góngora Salgado, A. C., & Rojas Gracia, P. (2006). *Incidencia de las enfermedades en uchuva* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional javeriano.
<http://hdl.handle.net/10554/8260>

González Almarío, C., & Barrero Meneses, L. S. (2011). *Estudio de la marchitez vascular de la uchuva para el mejoramiento genético del cultivo*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Grant-Downton, R. T., Terhem, R. B., Kapralov, M. V., Mehdi, S., Rodríguez-Enríquez, M. J., Gurr S. J. Van Kan, J. A. L., & Dewey, F. M. (2014). A Novel *Botrytis* Species is Associated with a Newly Emergent Foliar Disease in Cultivated Hemerocallis. *PLoS One*, 9(6), e89272.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089272>

Herrera Moreno, A. M., Fischer, G., & Chacón Sánchez, M. I. (2012). Agronomical evaluation of cape gooseberries (*Physalis peruviana L.*) from central and north-eastern Colombia. *Agronomía Colombiana*, 30(1), 15-24.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1992). *Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación* [Manual de asistencia técnica n.º 25].

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*.

Kadam, B. (1942). Deterioration of varieties of crops and the task of the plant breeder. *The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 160-172.

Konstantinidis, K. T., Ramette, A., & Tiedje, J. M. (2006). Toward a more robust assessment of intraspecies diversity, using fewer genetic markers. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(11), 7286-7293.
<https://doi.org/10.1128/AEM.01398-06>

Lagos T., Mejía D., Pabon J., Ordoñez H., Benavides C. (2021). *Enfermedades de la uchuva (Physalis peruviana) en zonas productoras del departamento de Nariño*. Universidad de Nariño.

Legge, A. P. (1974). Notes on history cultivation and uses of *Physalis peruviana L.* *Journal of the Royal Horticultural Society*, 99(7), 310-314.

Ligarreto, G. A., Lobo, M., & Correa, A. (2005). Recursos genéticos del género *Physalis* en Colombia. En G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahita, & J. Romero, (Eds.), *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia* (pp. 9-27). Unibiblos.

Lindow, S. E., & Brandl, M. T. (2003). Microbiology of the phyllosphere. *Applied Environmental Microbiology*, 69(4), 875-83.
<https://doi.org/10.1128/AEM.69.4.1875-1883.2003>

Ma, L., Cornelissen, B. J. C., & Takken, F. L. W. (2013). A nuclear localization for Avr2 from *Fusarium oxysporum* is required to activate the tomato resistance protein I-2. *Frontiers in Plant Science*, 4, 94.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00094>

Ma, L.-J., Shea, T., Young, S., Zeng, Q., & Kistler, H. C. (2014). Genome Sequence of *Fusarium oxysporum f. sp. melonis* Strain NRRL 26406, a Fungus Causing Wilt Disease on Melon. *Genome Announcements*, 2(4), e00730-14.
<https://doi.org/10.1128/genomeA.00730-14>

Madriñan Palomino, C. E. (2010). *Caracterización morfológica de accesiones de Physalis peruviana L. del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3382/07505002.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Maiden, M. C. J., Bygraves, J. A., Feil, E., Morelli, G., Russell, J. E., Urwin, R., Zhang, Q., Zhou, J., Zurth, K., Caugant, D. A., Feavers, I. M., Achtman, M., & Spratt, B. G. (1998). Multilocus sequence typing: A portable approach to the identification of clones within populations of pathogenic microorganisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(6), 3140.
<https://doi.org/10.1073/PNAS.95.6.3140>



Marín, A., Miranda, D., & Piedrahita, W. (2005). Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el cultivo de la uchuva. En G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahita, & J. Romero (Eds.), *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L) en Colombia* (pp. 131-146). Universidad Nacional de Colombia.

Martínez, M. (1998). Revision of *Physalis* section *Epiteiorhiza* (Solanaceae). *Anales del Instituto de Biología serie Botánica*, 69, 71-117).

Martínez, É., Hio, J. C., Aguirre, J., & Rincón, J. (2012). Estudio de la respuesta de uchuva frente a la interacción con microorganismos benéficos en suelos con *Fusarium* y la presencia de este patógeno asociada a arvenses. [Informe final]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Martínez, E., Rojas, E., Cruz, G., Aguirre, J., Vergara, J., Hio, J., Munera, G., & Pisco, C. (2017). Un factor biótico, abiótico o cultural identificado como un predisponente de la marchitez vascular de la uchuva [Informe final]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Mason, D. T., & Dennis, C. (1978). Post-harvest spoilage of Scottish raspberries in relation to pre-harvest fungicide sprays. *Horticultural Research*, 18(1), 41-53.
<https://eurekamag.com/research/006/151/006151544.php>

Michielse, C. B., Van Wijk, R., Reijnen, L., Cornelissen, B. J., & Rep, M. (2009). Insight into the molecular requirements for pathogenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* through large-scale insertional mutagenesis. *Genome Biology*, 10(1), 1-18.
<https://doi.org/10.1186/GB-2009-10-1-R4>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2019). Cadena de la uchuva. Dirección de cadenas agrícolas.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20UCHUVA.pdf>

Miranda, D. (2004). Informes de visitas de asesoría técnica a fincas productoras de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la Sabana de Bogotá y Antioquia. Universidad Nacional de Colombia

Miranda, D. (2005). Criterios para el establecimiento, los sistemas de cultivo, el tutorado y la poda de la uchuva. En G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahita, & J. Romero (Eds.), *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia* (pp. 29-53). Universidad Nacional de Colombia.

Miranda, D., Carranza, C., & Fischer, G. (2016). Problemas de campo asociados al cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) (Número April). Universidad Nacional de Colombia.

Moreno Velandia, C. A., Izquierdo García, L. F., Zapata Narváez, Y. A., Beltrán Acosta, C. R., & Zuluaga Mogollón, M. V. (2020). Tricotec® WG Biofungicida. Recomendaciones de uso y patógenos blanco. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403787>

Morton, J. (1987). Cape gooseberry. En J. Morton (Ed.), *Fruits of warm climates* (pp. 430-443). Florida Flair Books.

Murcia Riaño, N., Martínez, M. F., Orduz-Rodríguez, J. O., Ríos-Rojas, L., López Galé, Y., Yacomelo Hernández, M. J., Carabadí Muñoz, A., Kondo, T., García Muñoz, M. C., Mesa Cobo, N. C., López González, J., Pérez Artilles, Rodríguez Mora, D. M., Montes Rodríguez, J. M., Betancourt Vásquez, M., Rodríguez Torres, I. V., Tarazona Velásquez, R., Mateus Cagua, D. M., Velásquez Ramírez, H. A., Beltrán López, H., Pisco Ortiz, C., ... Rodríguez Roa, A. O. (2020). Modelo productivo de lima ácida Tahití (*Citrus × latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez) para Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7403435>

Namiki, F., Shiomi, T., Kayamura, T., & Tsuge, T. (1994). Characterization of the formae speciales of *Fusarium oxysporum* causing wilts of cucurbits by DNA fingerprinting with nuclear repetitive DNA sequences. *Applied and Environmental Microbiology*, 60(8), 2684-2691.
<https://doi.org/10.1128/aem.60.8.2684-2691.1994>

Nelson, P. E., Toussoun, T.A., & Marasas, W. F. O. (1983). *Fusarium species: an illustrated manual for identification*. Pennsylvania State University Press.

Nirmaladevi, D., Venkataramana, M., Srivastava, R. K., Uppalapati, S. R., Gupta, V. K., Yli-Mattila, T., Clement Tsui, K. M., Srinivas, C., Niranjana, S. R., & Chandra, N. S. (2016). Molecular phylogeny, pathogenicity and toxigenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Scientific Reports*, 6, 21367.
<http://doi.org/10.1038/srep21367>

Novoa, R. H., Bojacá, M., Galvis, J. A., & Fischer, G. (2006). La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 °C (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*, 24(1), 77-86.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316238010>

Núñez Zарantes, V. M., Sánchez Betancourt, E. P., Barrero Meneses, L. S., Mayorga Cubillos, F. G., Gómez Marroquín, M. R., Hernández, E. G., Garzón Martínez, G. A., Enciso Rodríguez, F. E., Navas Arboleda, A. A., & Lobo Arias, M. (2014). Estado del arte de la investigación en uchuva *Physalis peruviana* L. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/13137>

Núñez Zарantes, V. M., Sánchez-Betancourt, E. P., Mayorga Cubillos, F. G., Navas Arboleda, A. A., & Gómez Gil, L. F. (2016a). Corpoica Andina. Variedad de uchuva para Boyacá, Cundinamarca, Antioquia y Nariño. Mosquera, Cundinamarca. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/11528>

Núñez Zарantes, V. M., Sánchez-Betancourt, E. P., Mayorga Cubillos, F. G., Navas Arboleda, A. A., & Gómez Gil, L. F. (2016b). Corpoica Dorada. Variedad de uchuva para Boyacá, Cundinamarca y Antioquia. Mosquera, Cundinamarca. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/11565>



O'Donnell, K., Sutton, D. A., Rinaldi, M. G., Sarver, B. A., Balajee, S. A., Schroers, H. J., ... & Geiser, D. M., Summerbell, R. C., Crous, P., Zhang, N., Aoki, T., Jung, R., Park, J., Lee, Y. H., Kang, S., Park, B., & Geiser, D. M. (2010). Internet-accessible DNA sequence database for identifying fusaria from human and animal infections. *Journal of Clinical Microbiology*, 48(10), 3708-3718.

Orozco-Balbuena, D. I., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza, M. de las N., & Antúñez-Ocampo, Ó. M. (2021). Phenology of Four Varieties of Gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in Greenhouses and Hydroponics for its Commercial Production in Mexico. *Agroproductividad*, 14(3), 3-9. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i3.1747>

Osorio Guarín, J. A. (2014). *Estudio de asociación entre respuesta de resistencia a Fusarium oxysporum y marcadores moleculares en una colección de germoplasma de uchuva (Physalis peruviana L.)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/49496>

Osorio-Guarín, J. A., Enciso-Rodríguez, F. E., González, C., Fernández-Pozo, N., Mueller, L. A., & Barrero, L. S. (2016). Association analysis for disease resistance to *Fusarium oxysporum* in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *BMC Genomics*, 17, 248. <https://doi.org/10.1186/s12864-016-2568-7>

Páez Parra, A. P., Villota Caicedo, C. P., & García Gómez, G. O. (2012). Buenas prácticas agrícolas para la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) metodología de escuelas de campo de agricultores. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Palma, M. A. (2004). Vigilancia Fitosanitaria división protección agrícola *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. Gobierno de Chile. Servicio Agrícola y Ganadero. <https://www2.sag.gob.cl/agricola/vigilancia/informativo11.pdf>

Peña, J. F., Ayala, J. D., Fischer, G., Chaves, B., Cárdenas-Hernández, J. F., & Almanza, P. J. (2010). Relaciones semilla-fruto en tres ecotipos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(1), 43-54. <https://doi.org/10.17584/rcch.2010v4i1.1224>

Perfetti, J. J. Delgado, M., Blanco, J., Paredes, G., García, A., Naranjo, J., Pantoja, J., González, L., Bravo-Ureta, B., Jara, R., & Moraga, C. (2019). Adecuación de tierras y el desarrollo de la agricultura colombiana: políticas e instituciones. Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo (Fedesarrollo).

Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158-160. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)

Pinilla, C. (2002). Identificación de la flora asociada a plantaciones de banano en Urabá y Magdalena [Ponencia]. XXIII Congreso Anual Manejo Integrado de Arvenses. Santa Marta, Colombia.

Plaza, G. A., & Pedraza, M. (2007). Reconocimiento y caracterización ecológica de la flora arvense asociada al cultivo de uchuva. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 306-313.

Pulido Blanco, V. C. (2010). *Evaluación de la resistencia y susceptibilidad de accesiones élite de germoplasma de uchuva (Physalis peruviana L.) al hongo Fusarium oxysporum Schltdl* Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27737.06248>

Ramírez Gómez, M., Roveda Hoyos, G., Bonilla Buitrago, R., Cabra Julio, L., Peñaranda Rolón, A., López Jiménez, M., Serralde, D. P., Tamayo Vélez, Á., Navas Ríos, G. E., & Díaz Díez, C. A. (2008). *Uso y manejo de biofertilizantes en el cultivo de la uchuva*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Ramírez, F., Fischer, G., Davenport, T. L., Pinzón, J. C. A., & Ulrichs, C. (2013). Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) phenology according to the BBCH phenological scale. *Scientia Horticulturae*, 162, 39-42. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.033>

Ramírez, M. M., Martínez, E., Serralde, D. P., Peñaranda, A., & Díaz, A. (2017). Prácticas de manejo del estrés biótico y abiótico para el cultivo de uchuva, determinadas [Informe final].

Ramírez, M. M., Roveda, G., Bonilla, R., Serralde, D. P., & Peñaranda, A. (2009). *Optimización de la fertilización del cultivo de la uchuva mediante el uso de microorganismo con potencial biofertilizante* [Informe final].

Ramírez, M. M., Roveda, G., Serralde, D. P., Baquero, I. (2012). *Evaluación económica del uso de biofertilizantes en el cultivo de uchuva (Physalis peruviana L.)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Rodríguez, E. A., Barbosa, J. D., Osorio, J. A., Barrero, L. S., & González, C. (2015). *The causal agent of cape gooseberry vascular wilt, Fusarium oxysporum, and its relationship to geographic origin, haplotype and pathogenicity of their populations* [Ponencia]. XXXII Colombian Congress of Phytopathology & I International Symposium of *Fusarium* (Universidad Militar Nueva Granada), Cajicá, Colombia.

Rodríguez, E. (2010). *Aislamiento y caracterización de cepas de Fusarium oxysporum en uchuva (Physalis peruviana) y evaluación de la patogenicidad en invernadero*. Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia. Tesis de pregrado en Agronomía.

Rodríguez Velásquez, E. A. (2013). *Caracterización de aislamientos de Fusarium spp. obtenidos de zonas productoras de uchuva (Physalis peruviana) en Cundinamarca y Boyacá* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/50425>



Rodríguez, S., & Rodríguez, F. (2008). Identificación molecular y establecimiento del código de barras "Barcode", de levaduras nativas. Universidad Pontificia Javeriana.

Roschewitz, I., Gabriel, D., Tschardt, T., & Thies, C. (2005). The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming: Landscape complexity and weed species diversity. *Journal of Applied Ecology*, 42(5), 873-882. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01072.x>

Roveda, G., Peñaranda, A., Ramírez, M., Baquero, I., & Galindo, R. (2012). Diagnóstico de la fertilidad química de los suelos de los municipios de Granada y Silvanía para la producción de uchuva en Cundinamarca. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 179-188. https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num2_art:253

Rudas, G., Marcelo, D., Armenteras, D., Rodríguez, N., Morales, M., Delgado L. C., & Sarmiento A. (2007). Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas de bosque sub andino en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Saghrouni, F., Ben Abdeljelil, J., Boukadida, J., & Ben Said, M. (2013). Molecular methods for strain typing of *Candida albicans*: a review. *Journal of Applied Microbiology*, 114(6), 1559-1574. <https://doi.org/10.1111/jam.12132>

Salamanca Jiménez, A. & Khalajabadi, S. S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381-397.

Saldarriaga, A., & Zapata, J. L. (2002). Enfermedades de origen bacterial asociadas al cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Antioquia, Cundinamarca y Boyacá. En *IV Seminario Nacional de Frutales de Clima Frio Moderado* (pp. 112-117). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Universidad Pontificia Bolivariana; Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales (CDTF).

Sánchez de Prager, M. (2018). *Aportes de la biología del suelo a la agroecología*. Universidad Nacional de Colombia.

Sánchez Betancourt, E. P., Mayorga Cubillos, F. G., Navas Arboleda, A. A., Gómez Gil, L. F., & Núñez Zarantes, V. M. (2016). *Corpoica Dorada. Variedad de uchuva para Boyacá, Cundinamarca y Antioquia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/11565>

Sandoval Lozano, A. (2010). *Caracterización molecular de aislamientos de Fusarium spp. obtenidos de plantas de maracuyá en el departamento del Huila* [Tesis de pregrado, Universidad del Tolima].

Schenk, N.C., & Pérez, Y. (1990). *Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi*. Synergistic Publications.

Shlevin, E., Mahrer, Y., & Katan, J. (2007). Effect of moisture on thermal inactivation of soilborne pathogens under structural solarization, *Phytopathology*, 94(2), 132-137. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.2.132>

Sierra-Muñoz, J. C., Siqueiros-Delgado, M. E., Flores-Ancira, E., Moreno-Rico, O., & Arredondo-Figueroa, J. L. (2015). Riqueza y distribución de la familia Solanaceae en el estado de Aguascalientes, México. *Botanical Sciences*, 93(1), 97-117. <https://doi.org/10.17129/botsci.63>

Silva Tamayo, L. Á. (2006). *Diagnóstico de la problemática actual de enfermedades en el departamento de Antioquia* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional javeriano. P <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8256?locale-attribute=fr>

Simbaqueba, J., Catanzariti, A.-M., González, C., & Jones, D. A. (2018). Evidence for horizontal gene transfer and separation of effector recognition from effector function revealed by analysis of effector genes shared between cape-gooseberry- and tomato-infecting formae speciales of *Fusarium oxysporum*. *Molecular Plant Pathology*, 19(10), 3202-3218. <https://doi.org/10.1111/mpp.12700>

Simbaqueba, J., Rodríguez, E. A., Burbano-David, D., González, C., & Caro-Quintero, A. (2021). Putative Novel Effector Genes Revealed by the Genomic Analysis of the Phytopathogenic Fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph) That Infects Cape Gooseberry Plants. *Frontiers in Microbiology*, 11, 593915. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.593915>

Smith, S. D., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press.

Suescún Peñaranda, L., Sánchez Betancourt, E., Gómez Marroquín, M., García Arias, F. L., & Núñez Zarantes, V. M. (2011). *Producción de plantas genéticamente puras de Uchuva*. Kimpres.

Tamayo, A. R. L., Betancur, C. E., & García, V. E. L. (2014). *Manual técnico del cultivo de uchuva bajo buenas prácticas agrícolas*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de la Gobernación de Antioquia. 112paginas.

Tamietti, G., & Valentino, D. (2006). Soil solarization as an ecological method for the control of *Fusarium* wilt of melon in Italy. *Crop Protection*, 25(4), 389-397. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2005.07.002>

Torrado, A., Sánchez, G., Pedraza, M., & Saavedra, M. (2005). *Implementación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de la uchuva en Colombia*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Servicio nacional de Aprendizaje (SENA); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).



Vargas, O., Martínez, M., & Patricia Dávila, A. (2001). Two new species of *Physalis* (Solanaceae) endemic to Jalisco, Mexico. *Brittonia*, 53, 505-510.
<https://doi.org/10.1007/BF02809650>

Weber, R. W. S. (2011). Resistance of *Botrytis cinerea* to multiple fungicides in Northern German small-fruit production. *Plant Disease*, 95(10), 1263-1269.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-03-11-0209>

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

Zapata Narváez, J., & Cotes, A. M. (2013). Eficacia de dos prototipos de bioplaguicida a base de *Rhodotorula glutinis* cepa LvCo7 y un bioplaguicida a base de *Trichoderma koningiopsis* cepa Th003 en el control de *B. cinerea* en cultivos de mora. En J. Zapata, & A. M. Cotes (Eds.), *Desarrollo de prototipos de bioplaguicida a base de Rhodotorula glutinis LvCo7 para el control de Botrytis cinerea en cultivos de mora* (pp. 73-79). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/13072>

Zapata Pareja, J. L. (2011). Principales enfermedades que afectan el cultivo. En J. L. Zapata Pareja, G. E. Navas Ríos, C. A. Díaz Diez, & M. Lodoño Bonilla, *Aspectos importantes para el establecimiento del cultivo de la uchuva* (pp. 24-29). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Zapata P., J., Saldarriaga C., A., Londoño B., M., & Díaz D., C. (2002). *Manejo del cultivo de la uchuva en Colombia* [Boletín técnico]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<https://bit.ly/2FPhZp6>

Zapata, J. A., Smith, A., Mesa, P., Díaz A., S., Rodríguez, M. X., & Díaz, A. (2012). *Avances en el manejo y control de Fusarium oxysporum en el cultivo de uchuva (Physalis peruviana)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<https://doi.org/10.21930/978-958-740-091-5>

Zuluaga Marín, J. (2014). *Manual técnico para la implementación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de uchuva (Physalis peruviana L) y la unión del departamento de Antioquia* [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio Institucional.
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/3475>

María Margarita Ramírez Gómez

<https://orcid.org/0000-0002-7407-7321>

mmramirez@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia, MPhil en Microbiología de Suelos de la University of Wales, Reino Unido y doctora en Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. Tiene una amplia experiencia en el estudio de la simbiosis con rizobios y hongos formadores de micorrizas arbusculares. Sus investigaciones parten del aislamiento, la identificación y la selección de las mejores interacciones planta-microorganismos en laboratorio, invernadero y campo. Ha liderado la formulación, el escalamiento, el registro y la venta de siete bioproductos basados en microorganismos benéficos. Ha participado en proyectos de investigación y en la conformación, coordinación y puesta en marcha de los programas nacionales de Manejo Integrado de Suelos y Aguas, de Manejo Integrado Recursos Biofísicos y en el Banco de Germoplasmas de Microorganismos con Interés en Biofertilización, así como en la escuela de pensamiento en agricultura tropical. Es creadora y líder del grupo de investigación Raíces del Futuro: manejo de Suelos y Aguas. En la actualidad, se desempeña como investigadora PhD senior del Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA.



Diana Paola Serralde Ordóñez

<https://orcid.org/0000-0001-6422-5071>

deserralde@agrosavia.co

Profesional en Ecología de la Pontificia Universidad Javeriana y magíster en Ciencias-Geofísica de la Universidad Nacional de Colombia. Es investigadora máster senior de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y tiene experiencia en la relación planta-microorganismo-ambiente, especialmente en la simbiosis con hongos formadores de micorrizas arbusculares y su respuesta a nivel nutricional en diferentes cultivos de interés agrícola y forestal. Ha trabajado en la capacidad de estos microorganismos como potenciales biocontroladores de enfermedades fitosanitarias, como el ataque por *Fusarium oxysporum* en uchuva, y potencial biorremediador mediante la inmovilización de metales pesados como Cd en plantas de cacao y Cd y As en arroz.

Víctor Manuel Nuñez Zarantes

<http://orcid.org/0000-0002-5087-9864>

vnunez@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, máster en Mejoramiento Genético y Genética de la Universidad de Minnesota (USA). Docente de la Maestría en Biología Aplicada de la Universidad Militar Nueva Granada, instructor de Biología de Iowa State University USA. Tiene experiencia en fitomejoramiento, biotecnología y genética molecular-cruzamientos intraespecíficos/interespecíficos/intergenéricos. micropropagación, cultivo anteras/microsporas, rescate embriones; asimismo, en transformación genética-maíz, soya, arveja, papa, uchuva; citogenética-

arroz, maíz, uchuva y papa; marcadores ADN-papa, soya, palma, uchuva, cacao, tabaco, papaya, guayaba y mora. En la actualidad, se desempeña como investigador máster senior del Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde ha participado en la obtención de las primeras variedades colombianas transgénicas de algodón Nevada-123, Oasis-129 y Sanjuanera-151 resistentes a lepidópteros plaga y tolerantes a glifosato y obtención de las variedades Dorada y Andina de uchuva.

Érika Patricia Martinez Lemus

<https://orcid.org/0000-0002-5580-1564>

emartinezl@agrosavia.co

Bacterióloga y magíster en Microbiología. Es investigadora en patología vegetal con énfasis en epidemiología y manejo de enfermedades, principalmente en frutales. Tiene experiencia en identificación y caracterización genética de agentes causales, dinámica espacio-temporal y búsqueda de alternativas de manejo, considerando la conservación de la biodiversidad y el buen uso del suelo y las aguas. Ha participado en la formulación y el desarrollo de proyectos de investigación en estudios de distribución, dispersión y búsquedas de alternativas de manejo de las antracnosis en mango, tomate de árbol, cítricos y mora; pudrición radical de la cebolla, estrella del fique, gota de la papa y del tomate, *damping off* en tomate, enfermedades en hortalizas asociadas a eventos climáticos y la asociación de los factores edáficos y de manejo agronómico con la ocurrencia en enfermedades del suelo ocasionadas por *Fusarium* spp. en cultivos de uchuva y pasifloras, para la generación de estrategias de manejo preventivo.



Carolina Gonzalez Almario

<https://orcid.org/0000-0001-8596-3751>

cgonzalez@agrosavia.co

Bióloga y doctora en Fitopatología Molecular. Es experta en identificación y caracterización molecular de fitopatógenos fúngicos y bacterianos de cultivos de importancia económica, como cacao, uchuva y yuca, y tiene experiencia en la gestión para conservación, caracterización fenotípica y molecular, promoción y uso de los recursos genéticos animal, vegetal y de microorganismos para la alimentación y la agricultura. Es jefe del Departamento de Agrobiodiversidad, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Andrea María Peñaranda Rolón

<https://orcid.org/0000-0003-1231-646X>

apenaranda@agrosavia.co

Ingeniera de Producción Biotecnológica de la Universidad Francisco de Paula Santander y máster en Ciencias Ambientales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Cuenta con una amplia experiencia en el estudio de hongos formadores de micorrizas y rizobios, y en su potencial como biofertilizante en invernadero, vivero y campo. Ha participado en la formulación y ejecución de varios proyectos de investigación en especies frutícolas, leguminosas, forestales y transitorias como la caña para producción de panela. Su experiencia profesional está enfocada en la evaluación de microorganismos con potencial biofertilizante y su impacto económico y ambiental en diversos cultivos. En la actualidad, se desempeña como investigadora

máster del Centro de Investigación Tibaitatá, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Yimmy Alexander Zapata Narváez

<https://orcid.org/0000-0002-7586-209X>

jzapatan@agrosavia.co

Microbiólogo de la Pontificia Universidad Javeriana y máster en Agrociencias de la Universidad de La Salle. Es investigador máster senior de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), y su trabajo se ha desarrollado en el área de fitopatología y el control biológico de enfermedades en diferentes sistemas productivos, mediante el desarrollo de bioproductos, de los cuales ha vinculado su incorporación en la producción agrícola. Ha orientado estos desarrollos a la implementación de estrategias de manejo integrado de los cultivos, con lo cual ha abogado por la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Francy Liliana García Arias

<https://orcid.org/0000-0003-3112-9950>

flgarcia@agrosavia.co

Bióloga y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Genética y Fitomejoramiento. Tiene experiencia en citogenética, biología molecular y cultivo de tejidos *in vitro*, y con esto busca profundizar en el conocimiento y uso de los recursos genéticos vegetales; asimismo, en investigación en el área de mejoramiento genético, con lo cual ha contribuido al desarrollo de las variedades de uchuva Corpoica Andina y Corpoica Dorada. En la actualidad, trabaja en el desarrollo de variedades de uchuva con resistencia a *Fusarium*



oxysporum f. sp. *physali*. Ha participado en diferentes proyectos para el estudio de la variabilidad fenotípica y citogenética, diversidad genética e identificación de genes asociados a atributos de interés agronómico mediante GWAS en especies frutales de clima frío como uchuva y mora. Recientemente, ha trabajado en proyectos relacionados con el estudio de la diversidad y la estructura poblacional de chontaduro, y en la búsqueda de alternativas de control de la hernia de las crucíferas en brócoli.

David Rodríguez Puertas

<https://orcid.org/0000-0001-7161-3013>

dpuertas@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia y magíster en ciencias Agrarias, línea de investigación Protección de Cultivos, de la Universidad Nacional de Colombia. Es profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Obonuco de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), y tiene experiencia en cultivos de clima frío, especialmente uchuva y papa, en las líneas de investigación en Producción y Protección de Cultivos, y de Evaluación de Germoplasma, así como en la ejecución de trabajo con comunidades rurales, procesos de educación comunitaria y transferencia de tecnologías con agricultores y asistentes técnicos.

Edwin Alirio Rodríguez Velásquez

<https://orcid.org/0000-0003-3266-8171>

earodriguez@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo y máster en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitopatología. Ha participado por más de diez años en la formulación y ejecución de proyectos de investigación relacionados con la identificación y caracterización de hongos fitopatógenos, el control biológico, la detección temprana de patógenos mediante técnicas moleculares, la resistencia genética a enfermedades e interacción planta-patógeno en cultivos de cacao, uchuva, musáceas y hortalizas. Tiene interés en las enfermedades causadas por *Fusarium oxysporum* Species Complex (FOSC), grupo taxonómico con el que ha trabajado desde los inicios de su carrera profesional. Además cuenta con experiencia en la generación y el fortalecimiento de alianzas interinstitucionales, así como en la construcción de agendas de investigación.

Andrés Díaz García

<http://orcid.org/0000-0002-8638-7968>

adiaz@agrosavia.co

Magíster de la Universidad Nacional de Colombia. Tiene 18 años de experiencia en diseño de medios de cultivo para producción masiva de microorganismos, diseño de equipos biotecnológicos, estandarización y optimización de procesos de fermentación sólida y líquida, análisis de operaciones unitarias *downstream*, modelamiento y diseño de experimentos a escala de laboratorio y piloto. En la actualidad, se desempeña como investigador máster asociado del Departamento de Bioproductos, Centro de Investigación Tibiatatá, de la Corporación Colombiana de Investigación



Agropecuaria (AGROSAVIA), con énfasis en estandarización y escalamiento de bioprocesos a nivel piloto. Ha publicado artículos científicos y capítulos de libro relacionados con ingeniería bioquímica en publicaciones científicas a nivel nacional e internacional.

Franklin Giovanni Mayorga Cubillos

<https://orcid.org/0000-0003-1482-0280>

fmayorgac@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo, magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Genética y Mejoramiento de la Universidad Nacional de Colombia. En la actualidad, es investigador máster en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Tiene experiencia en manejo de cultivos, caracterización, evaluación de rasgos morfoagronómicos y de calidad en especies como palma de aceite, uchuva, mora y cereales con fin forrajero para el trópico alto colombiano; asimismo, en análisis de estabilidad de genotipos, cruzamientos interespecíficos y mejoramiento genético convencional sobre poblaciones en campo.

Emerson Duván Rojas Zambrano

<https://orcid.org/0000-0001-7605-3457>

edrojas@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tiene experiencia en la administración y el manejo de almacigos, manejo integrado de suelos, planes de fertilización y manejo agronómico de diversos sistemas productivos a campo abierto y bajo cubierta,

principalmente en cultivos de hortalizas y frutales. En la actualidad, se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y su aporte a la investigación se ha centrado en el área del manejo sanitario enfocado en el manejo integrado de enfermedades en sistemas de producción frutícola como pasifloras, uchuva y mango, orientados al diseño de modelos de prevención y alternativas de manejo de enfermedades limitantes. Cuenta con la experiencia en la formulación y el desarrollo de proyectos en actividades de planificación, muestreo en campo, montaje, seguimiento, evaluación, toma de datos e interpretación de resultados estadísticos de ensayos experimentales.

Víctor Camilo Pulido Blanco

<https://orcid.org/0000-0002-1217-6877>

vpulido@agrosavia.co

Máster en Ciencias Biológicas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, con trece años de experiencia en el área de la agrobiología en investigación participativa en laboratorio, campo e invernadero (toma, análisis y divulgación de datos científicos), y en la administración de proyectos encaminados a la solución de problemáticas productivas del agro con comunidades de pequeños, medianos y grandes productores de frutales (guayaba, uchuva), caña y café en Colombia y Costa Rica (desde la formulación, ejecución y extensión, hasta la publicación de resultados, la producción de oferta derivada y la medición de impacto). En 2020 en República Dominicana, incursionó en un proyecto de bioeconomías derivadas de la cadena de valor de café de la isla; en Colombia, trabajó en la medición de sostenibilidad con indicadores sociales, económicos,



ambientales y de gobernanza en la reconversión del cultivo de cebolla en la cuenca de un lago con conflictos socioambientales.

Camilo Rubén Beltrán Acosta

<https://orcid.org/0000-0002-6063-6962>
cbeltran@agrosavia.co

Biólogo de la Universidad Nacional de Colombia y magíster en Ciencias Biológicas con énfasis en Biotecnología Vegetal de la Pontificia Universidad Javeriana. Tiene experiencia en las áreas de fitopatología, control biológico, manejo integrado de enfermedades, biología y biotecnología vegetal. Es integrante desde 2005 del grupo de investigación Control Biológico de Plagas Agrícolas del Ministerio de Ciencia, tecnología e Información, y tiene experiencia en gestión, ejecución y evaluación de proyectos de investigación. Ha trabajado en el manejo integrado de enfermedades en cultivos de papa, uchuva, lechuga, tomate, ajo, mora, fresa, cacao y fique.

Érika Patricia Sánchez Betancourt

<https://orcid.org/0000-0002-3024-3180>
esanchez@agrosavia.co

Bióloga y fitomejoradora. Sus principales intereses en cultivos de mejoramiento son la uchuva y la mora, y el principal resultado es el registro de las dos primeras variedades de uchuva para Colombia. Su experiencia en la investigación incluye el uso y el desarrollo de marcadores moleculares para estudiar y caracterizar especies vegetales como uchuva, mora, papa, papaya y frijol común. También ha utilizado la citogenética para identificar la ploidía en diferentes especies, y ha participado en evaluaciones agronómicas

en campo para el registro de materiales vegetales. Sus áreas específicas de interés incluyen fitomejoramiento y citogenética.

Fabián Enrique Martínez Camelo

<https://orcid.org/0000-0002-0671-6443>
fmartinez@agrosavia.co

Ecólogo y magíster en Conservación y Uso de Biodiversidad, con alto desempeño en la ejecución de acciones de investigación y extensión relacionadas con agricultura familiar, conservación de agrobiodiversidad, agroecología, agricultura urbana y periurbana, seguridad y soberanía alimentaria, restauración ecológica, ordenamiento territorial, reconversión productiva, formulación de políticas agroambientales y valoración económica de servicios ecosistémicos. En la actualidad, se desempeña como investigador máster del Centro de Investigación Tibaitatá, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Johan David Barbosa Medina

info@professionalgrowers.com.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Cundinamarca. Tiene cinco años de experiencia en asuntos regulatorios para la industria del *cannabis*, y cuatro años en la formulación, el desarrollo y la ejecución de proyectos de investigación agropecuarios. Es profesional de investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde ha participado en la formulación, la planeación y la ejecución de proyectos enfocados en el desarrollo integral de modelos productivos sostenibles para el cultivo de uchuva en Colombia, con énfasis en la



identificación morfológica y molecular del patógeno *Fusarium oxysporum*, agente causal de la marchitez vascular en uchuva, *Physalis peruviana*. También ha trabajado en el avance de la búsqueda de materiales vegetales resistentes de uchuva (*Physalis peruviana*) a *Fusarium oxysporum*, así como en el diseño de un paquete tecnológico que permita dar un manejo integrado a este sistema productivo. Es coordinador técnico en el Ministerio de Justicia y del Derecho en la Subdirección de Control y Fiscalización de Sustancias Químicas y Estupefacientes, donde participa en el desarrollo de diversas actividades, como la generación de protocolos para el control y el seguimiento de la industria, la generación de nuevas políticas (Decreto 811 de 2021), las asesorías bilaterales de asuntos regularlos con los Gobiernos de Perú y Uruguay y la divulgación de la normatividad vigente en diferentes espacios académicos. En la actualidad, es cofundador y director de asuntos regulatorios para Professional Growers, empresa dedicada a la asesoría técnica y regulatoria para la industria del *cannabis* en Colombia.

Wilmar Alexander Wilches Ortiz

<https://orcid.org/0000-0002-2905-3347>

wwilches@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Cundinamarca y magíster en Cambio Climático de la Universidad Iberoamericana Internacional de Puerto Rico, magíster en Seguridad Alimentaria de la Universidad Abierta y a Distancia de México, y en Biotecnología Alimentaria de la misma universidad. Tiene experiencia en diferentes campos de la agronomía, como la investigación y la transferencia de tecnología en el manejo integrado de plagas y enfermedades del cultivo de la papa y el tomate, los hongos formadores de micorrizas arbusculares en mora, uchuva, caña panelera, agraz, forestales, caucho, mango y cacao; asimismo, en el uso de sistemas

de información geográfica en sistemas silvopastoriles, enfermedades de la palma de aceite y estudios del cultivo de tabaco, así como en la docencia académica en el área agrícola y en las ciencias básicas. Ha participado en proyectos de producción de hortalizas limpias en agricultura urbana y transferencia de nuevas tecnologías en cultivo de fresa.

Juan Clímaco Hio

<https://orcid.org/0000-0003-3620-4569>

jclimaco@agrosavia.co

Magíster en Biología Aplicada de la Universidad Militar Nueva Granada, con énfasis en fitoprotección. Estudiante del doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo del Instituto Tecnológico de Costa Rica, de la Universidad Nacional de Costa Rica y la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica. Conoce de temas relacionados con biología de patógenos, epidemiología de problemas sanitarios y manejo y control de enfermedades en cultivos. Cuenta con más de 20 años de experiencia en la formulación y el desarrollo de proyectos en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Actualmente es investigador máster en el área de fitopatología y nematología de la misma corporación.

Diana Marcela Burbano David

<https://orcid.org/0000-0003-0109-3088>

dmburbano@agrosavia.co

Bióloga de la Universidad de Nariño. Tiene nueve años de experiencia investigativa relacionada con la caracterización y el manejo integrado de fitopatógenos en cultivos de tomate de árbol, papa, tomate, uchuva,



cacao, banano y plátano, empleando marcadores fenotípicos y moleculares. Ha apoyado procesos de investigación relacionados con diagnóstico, caracterización, bioseguridad y control biológico de patógenos como *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum* y *Ralstonia solanacearum*. Le interesa la caracterización molecular de agentes causales de enfermedades en diferentes cultivos de interés agrícola, así como el estudio de la interacción planta-patógeno.

Alejandro Caro Quintero

<https://orcid.org/0000-0001-8807-671X>
acarq@unal.edu.co

Microbiólogo de la Universidad de los Andes. Hizo la Maestría en Ecología Microbiana en la Universidad de Puerto Rico, luego se unió al programa de Doctorado en Biología en la Universidad Georgia Institute of Technology (Georgia Tech) con énfasis en Bioinformática, Genómica, Metagenómica y Metatranscriptómica, en el cual trabajó principalmente en el efecto de la transferencia horizontal de genes en la adaptación de bacterias a múltiples ambientes. Luego se desempeñó como investigador posdoctoral en la Universidad de Texas, Austin, donde trabajó en la coevolución de bacterias comensales en el tracto gastrointestinal humano y de otros homínidos (chimpancés, gorilas y bonobos). Su investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) se enfoca en el uso de herramientas de última secuenciación en sistemas agrícolas y pecuarios para mejorar su producción y calidad.

Camilo Ernesto Sanabria Torres

<https://orcid.org/0000-0002-7438-8488>
camilosana@gmail.com

Microbiólogo agrícola de la Pontificia Universidad Javeriana, con experiencia como profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en áreas de fitopatología y control biológico. Tiene ocho años de experiencia en el sector público-privado en manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos de uchuva y pasifloras.

Andrés Alarcón Ramírez

<https://orcid.org/0000-0001-6531-2687>
alarcon27@hotmail.com

Doctor en Ingeniería Eléctrica e Informática. Investigador de datos e imágenes, con más de 15 años de experiencia liderando proyectos y equipos enfocados en el desarrollo de soluciones de inteligencia artificial utilizando aprendizaje de máquinas/aprendizaje profundo, procesamiento de imágenes, detección remota y procesamiento del lenguaje natural (NLP) aplicado a los sectores de la agricultura, la energía, la tecnología y la salud. Ha sido profesor adjunto en diferentes universidades de Estados Unidos, como la Universidad de Maryland y la Universidad Municipal de Nueva York (CUNY).



<https://orcid.org/0000-0001-7117-2051>

jmduarte@agrosavia.co

Ingeniero electricista de la Universidad Industrial de Santander, máster en Procesamiento de Señales, doctor en Ciencias de la Computación de la Universidad de Puerto Rico y posdoctor en Procesamiento de Imágenes de la Universidad de Minnesota. Trabaja en Kodak como científico de color, como investigador asociado de la Universidad de Minnesota, como examinador de patentes en rayos X y rayos Gamma en la Oficina de Patentes de Estados Unidos. Es profesor en la Universidad Tecnológica de Bolívar, en la Universidad Francisco de Paula Santander y en la Universidad Antonio Nariño. Es investigador PhD de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en el área de procesamiento de imágenes, reconocimiento de patrones y aprendizaje automático con aplicaciones en agricultura de precisión.











Este libro se concibe como un material de consulta para productores, exportadores, académicos, estudiantes y demás actores interesados en el cultivo de la uchuva. Es la consolidación de un esfuerzo colectivo de un grupo interdisciplinario de investigadores de AGROSAVIA, quienes desde su área de conocimiento y experiencia han sumado esfuerzos para buscar alternativas que contribuyan a la sostenibilidad y competitividad del cultivo de uchuva en Colombia. En esta publicación, el lector puede encontrar los principales avances conseguidos en torno a este sistema productivo.

ISBN: 978-958-740-696-2



9 789587 406962

Distribución gratuita
Prohibida su venta

30
AGOS
AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria