

PRODUCCIÓN DE MENTA (*Mentha spicata* L.)

y su aprovechamiento agroindustrial

Colección Alianzas AGROSAVIA



AGROSAVIA
EDITORIAL



PRODUCCIÓN DE MENTA

(*Mentha spicata* L.)

y su aprovechamiento agroindustrial

Autores

Germán Franco, Édison Javier Osorio Durango, Karina Andrea Sierra Henao, Andrés Javier Cortés Vera, Luis Felipe López Hernández, Dagoberto Castro Restrepo, Bertha Miryam Gaviria Gutiérrez, José Antonio Rubiano Rodríguez, Juan Camilo Henao Rojas, Luz Mary Quintero Vásquez, Álvaro de Jesús Tamayo Vélez, Carolina Ortiz Muñoz, María Orfilia Vargas Arcila, Carolina Zuluaga Mejía, Luis Eladio Castro Tabares, Diana Yurladi Vanegas A., María Isabel Domínguez Rave, Jesús Jaiber Díaz García, Karen Lorena Ballestas Álvarez, Inés Amelia Madroñero Solarte



Producción de menta (*Mentha spicata* L.) y su aprovechamiento agroindustrial. / Germán Franco [y otros diecinueve] - Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2023.

114 páginas (Colección Alianzas Agrosavia)

Incluye gráficos y tablas.

ISBN e-Book: 978-958-740-640-5

1. *Mentha spicata* 2. Recursos genéticos vegetales 3. Variación somaclonal 4. Producción de semillas 5. Propagación de plantas 6. Medidas fitosanitarias 7. Agroindustria 8. Manejo de desechos agrícolas.

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 La Selva, Km 7, vía Rionegro-Las Palmas, Sector Llanogrande, Rionegro, Antioquia, código postal 054040, Colombia.
Sede Central, Km 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es el resultado del proyecto "Desarrollo agroindustrial de las plantas aromáticas y condimentarias en el departamento de Antioquia mediante generación de valor agregado para segundos usos de interés industrial como contribución al cierre de brechas: aplicación en el sistema de producción de menta (*Mentha* spp)", código 710680562744, llevado a cabo gracias a los recursos provenientes de la Gobernación de Antioquia, Sistema General de Regalías, a través del Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología e Innovación Francisco José de Caldas, a cargo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), convenio 779-2017 (4600005678), por medio del contrato de financiamiento de recuperación contingente n.º 80740-006-2019, así como al respaldo de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de la Gobernación de Antioquia, el cual fue ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en alianza con la Universidad de Antioquia, la Universidad Católica de Oriente, Freshherbs E. U., Empaquetados El Trece S. A. S. e Hiplantro, con el objetivo de "Generar valor agregado en el sistema de producción de menta, a través de recomendaciones tecnológicas del cultivo y un desarrollo agroindustrial estableciendo segundos usos de aplicación, utilizando los excedentes de la producción en el departamento de Antioquia".

Equipo técnico

Gobernación de Antioquia

Aníbal Gaviria Correa

Gobernador

Héctor Fabián Betancur Montoya

Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural

AGROSAVIA

Jorge Mario Díaz Luengas

Director Ejecutivo

Juan Mauricio Rojas Acosta

Director Centro de Investigación La Selva

Tatiana Rivero Espitia

Directora de Planeación y Cooperación Institucional

Jhon Freddy Cuestas

Líder Seguimiento y Evaluación Centro de Investigación La Selva

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias)

Autores

Germán Franco

Édison Javier Osorio Durango

Karina Andrea Sierra Henao

Andrés Javier Cortés Vera

Luis Felipe López Hernández

Dagoberto Castro Restrepo

Bertha Miryam Gaviria Gutiérrez

José Antonio Rubiano Rodríguez

Juan Camilo Henao Rojas

Luz Mary Quintero Vásquez

Álvaro de Jesús Tamayo Vélez

Carolina Ortiz Muñoz

María Orfilia Vargas Arcila

Carolina Zuluaga Mejía

Luis Eladio Castro Tabares

Diana Yurladi Vanegas A.

María Isabel Domínguez Rave

Jesús Jaiber Díaz García

Karen Lorena Ballestas Álvarez

Inés Amelia Madroñero Solarte

Colección Alianzas AGROSAVIA

Tipología: Libro de análisis, prácticas, experiencias y reflexiones

Fecha de recepción: 31 de mayo de 2022

Fecha de evaluación: 5 de julio de 2022

Fecha de aceptación: 25 de julio de 2022

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición: Verónica Barreto Riveros

Corrección de estilo: Alejandro Ladino

Diseño: Mónica Cabiativa Daza

Diagramación: Julián Hernández - Taller de Diseño

Fotografía: María Domínguez, José A. Rubiano, Karen Ballestas, Germán Franco, Bertha Gaviria

DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7406405>

Primera edición: junio de 2023

Publicado en Mosquera, Cundinamarca

Citación sugerida: Franco, G., Osorio Durango, E. J., Sierra Henao, K. A., Cortés Vera, A. J., López Hernández, F., Castro Restrepo, D., Gaviria Gutiérrez, B. M., Rubiano Rodríguez, J. A., Henao Rojas, J. C., Quintero Vásquez, L. M., Tamayo Vélez, Á. J., Ortiz Muñoz, C., Vargas Arcila, M. O., Zuluaga Mejía, C., Castro Tabares, L. E., Vanegas, D. Y., Domínguez Rave, M. I., Díaz García, J. J., Ballestas Álvarez, K. L., & Madroñero Solarte, I. A. (2023). *Producción de menta (Mentha spicata L.) y su aprovechamiento agroindustrial*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno con relación a 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.

Nota: En el presente documento, la mención de ingredientes activos que no están registrados para su uso en el cultivo de menta obedece a experiencias de investigadores, técnicos y productores, quienes los han utilizado y han obtenido buenos resultados. Asimismo, la alusión de algunos reactivos, plaguicidas y fertilizantes no constituye garantía por parte de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) ni excluye otros productos de igual o mayor eficiencia.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co - www.agrosavia.co

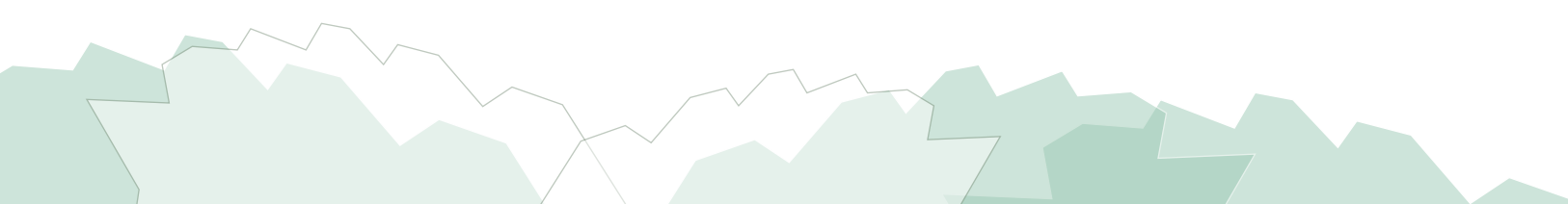


https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

Agradecimientos	7
Presentación	9
Introducción	11
Capítulo I. Recursos genéticos	14
Variación somaclonal en menta (<i>Mentha L.</i>)	15
<i>Luis Felipe López Hernández y Andrés Javier Cortés Vera</i>	
Herramientas para el estudio de la variación somaclonal	17
Estudio de la diversidad transcriptómica de la menta	17
Recomendaciones para optimizar perfiles de ARN	19
Variación somaclonal revela grupos crípticos en menta	20
Conclusiones	22
Referencias	22
Material de siembra en el cultivo de hierbabuena o menta verde	24
<i>Dagoberto Castro Restrepo, María Isabel Domínguez Rave y Jesús Jaiber Díaz García</i>	
Propagación a partir de semilla sexual	24
Propagación vegetativa o asexual	24
Semilla de calidad	25
Producción de semilla de calidad	26
Micropropagación de la menta para la producción de plantas núcleo	26
Certificación de las plantas de menta	27
Manejo de plantas madre o plantas para semilla básica	27
Producción de esquejes a partir de plantas madre	28
Referencias	29

Capítulo II. Aspectos sobre el manejo agronómico	31
Manejo integrado de plagas en menta	32
<i>José Antonio Rubiano Rodríguez, Karen Lorena Ballestas Álvarez, Carolina Ortiz Muñoz, Germán Franco y Luis Eladio Castro Tabares</i>	
Mariposas y polillas (lepidópteros)	32
Ácaros	35
Chizas	36
Crisomélidos	37
Chinches	39
Mosca blanca	40
Áfidos o pulgones	41
Babosas	43
Referencias	44
Actualización del estatus de los problemas fitosanitarios en menta en el Oriente antioqueño	46
<i>Bertha Miryam Gaviria Gutiérrez, Luis Eladio Castro Tabares, Diana Yurladi Vanegas Álvarez y Dagoberto Castro Restrepo</i>	
Roya	47
Pudrición de la base del tallo y de las hojas	47
Nematodos	47
Virus	48
Recomendaciones de manejo de problemas fitosanitarios . . .	49
Conclusiones	49
Referencias	50
Utilización de endófitos en plántulas de menta	51
<i>Dagoberto Castro Restrepo, María Isabel Domínguez Rave, Bertha Myriam Gaviria Gutiérrez, Diana Yurladi Vanegas y Luis Eladio Castro Tabares</i>	
Simbiontes que se asocian a las raíces (microorganismos rizosféricos)	51
Microorganismos que se asocian a la filósfera	54
Utilidad de los endófitos	54
La salud del suelo como un factor clave para el equilibrio del agroecosistema	55
Cómo utilizar los endófitos en la agricultura	57
Referencias	58



Fertilización química y biológica en la producción de menta en suelos andisoles del Oriente antioqueño 60

Álvaro de Jesús Tamayo Vélez, Carolina Ortiz Muñoz, Germán Franco y Luis Eladio Castro Tabares

Fertilización química	62
Fertilización orgánica-biofertilización	64
Concentración de nutrimentos	66
Conclusiones	67
Referencias	67

Capítulo III. Poscosecha y agroindustria 68

Subproductos agrícolas y sus posibilidades de aprovechamiento en cultivos de menta y plantas comercializadoras 69

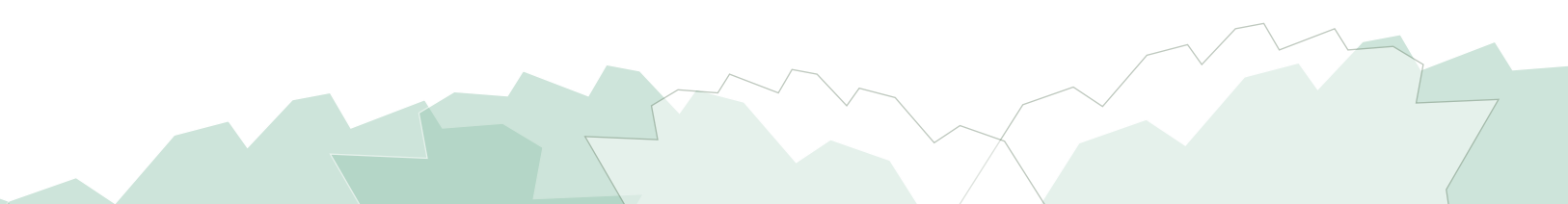
Luz Mary Quintero Vásquez, María Orfilia Vargas Arcila, Germán Franco, Juan Camilo Henao Rojas, Carolina Zuluaga Mejía e Inés Amelia Madroñero Solarte

Condiciones generales de los predios	70
Evaluación de las pérdidas por causas primarias y secundarias y obtención de subproductos	76
Recomendaciones para la reducción de pérdidas en cosecha y poscosecha de la menta	77
Conclusiones	79
Referencias	79

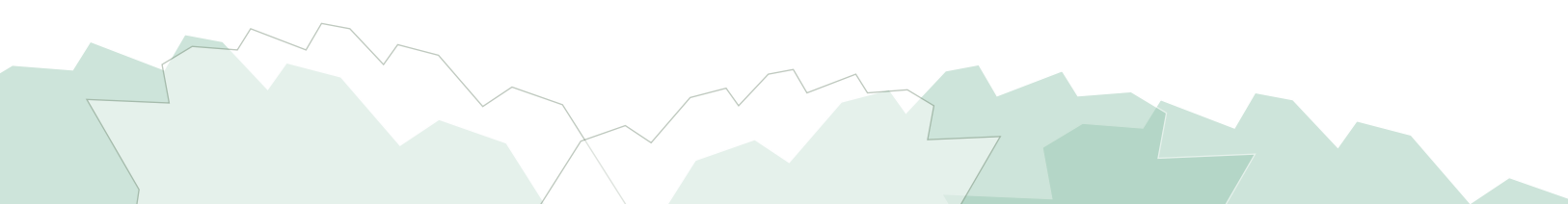
Caracterización química de los residuos agroindustriales de la menta para el desarrollo de ingredientes naturales 81

Karina Andrea Sierra Henao y Édison Javier Osorio Durango

Evaluación cualitativa y cuantitativa de los subproductos de menta	82
Selección del material vegetal	83
Estandarización de condiciones previas para los análisis	84
Determinación del contenido de polifenoles totales de los extractos de menta	86
Análisis de los compuestos fenólicos de menta por HPLC/DAD	88
Análisis por HPLC-DAD-ESI/MSn	90
Análisis de compuestos terpénicos en <i>M. spicata</i> por GC/MS ..	92
Optimización del proceso de extracción asistida por ultrasonido y desarrollo de un ingrediente natural	98

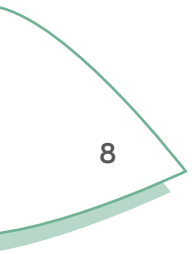


Desarrollo de ingrediente natural con aplicación alimentaria. Obtención de los extractos	101
Pruebas organolépticas: análisis descriptivo y discriminativo de los extractos desarrollados	102
Conclusiones	104
Referencias	105
Los autores	109



Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al gobernador de Antioquia, Aníbal Gaviria Correa, y al secretario de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, Héctor Fabián Betancur Montoya, por el apoyo económico a través de los recursos de la Gobernación de Antioquia, Sistema General de Regalías, Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología e Innovación Francisco José de Caldas, a cargo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias). A Juan Mauricio Rojas Acosta, director del Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA, a todo el equipo administrativo de AGROSAVIA y a los de la Universidad de Antioquia, la Universidad Católica de Oriente, Fresherbs, Empaquetados El Trece e Hiplantro, quienes apoyaron permanentemente el desarrollo del proyecto. También agradecen a los productores de menta que gentilmente aportaron información importante para el desarrollo del proyecto.



Presentación

Las plantas aromáticas han jugado un papel importante a lo largo de la historia, pues se han utilizado en una gran cantidad de formas y preparaciones, desde la alimentación y la medicina hasta la cosmética y diversos usos industriales. En la producción de algunas plantas como la menta, se estima que del volumen exportado queda en el campo un material que puede superar, según la época del año, un 40 % de la biomasa total producida, debido a que no cumple con la calidad requerida por los importadores. Este subproducto, coproducto o biomasa sobrante en el proceso de cultivo se considera una materia prima que puede transformarse, por lo que representa una fuente de ingreso adicional para las explotaciones de menta.

En el sistema de producción de las aromáticas en Colombia, se han identificado problemas en los diferentes eslabones de la cadena, desde la selección de las especies a trabajar, el establecimiento y manejo del sistema productivo, hasta los procesos de transformación y tecnología para el desarrollo de nuevos productos, debido principalmente a la falta de generación de conocimiento como base para el desarrollo de recomendaciones y tecnologías.

En tal sentido, la Gobernación de Antioquia propuso la Convocatoria Regional de Investigación, en el marco del FNCTel del SGR, definida en la Resolución 048 del 3 de febrero de 2016, por la cual se adoptaron las propuestas tipo para presentación de proyectos de inversión en Ciencia, Tecnología e Innovación, las cuales cerrarán brechas tecnológicas en las siguientes cadenas productivas priorizadas: aguacate, cacao, caucho, forestal, oleaginosas, papa, plátano, plantas aromáticas, medicinales y/o condimentarias, piña y piscicultura.

En este contexto, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, mediante el Convenio Especial de Cooperación n.º 779 de 2017 con Colciencias (hoy Minciencias), ejecutó 23 proyectos de investigación científica para el cierre de brechas tecnológicas agropecuarias, entre los cuales se encuentra el

proyecto de investigación “Desarrollo agroindustrial de las plantas aromáticas y condimentarias en el departamento de Antioquia, mediante generación de valor agregado para segundos usos de interés industrial como contribución al cierre de brechas: aplicación en el sistema de producción de menta (*Mentha* spp.)”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en alianza con la Universidad de Antioquia, la Universidad Católica de Oriente, Freshherbs E. U., Empaquetados El Trece S.A.S. e Hiplantro, y con el cual se avanzó en la generación de valor agregado para el sistema de producción de menta, con recomendaciones tecnológicas del cultivo y un desarrollo agroindustrial, mediante segundos usos de aplicación y a través de los subproductos de la producción en el departamento de Antioquia.

Con el desarrollo de este tipo de iniciativas, se busca aprovechar el potencial que tiene Colombia, y particularmente Antioquia, en el sistema productivo de menta para obtener materia prima de calidad, tanto en fresco como en bioproductos, que se importan en la actualidad. Con ello, además, se pretende contribuir a la sostenibilidad del cultivo, generar cohesión de la cadena de las plantas aromáticas medicinales condimentarias y afines (PAMCyA) e impulsar el empoderamiento de los actores locales en el Oriente antioqueño y otras zonas productoras de menta en el país.

Los resultados del proyecto contribuyen a reducir brechas tecnológicas en todo el sistema productivo de la menta, al articular áreas como genética, nutrición de la planta, manejo sanitario (plagas y enfermedades), cosecha, poscosecha y agroindustria. La oferta de resultados se realiza conforme con los lineamientos de las Buenas Prácticas de Agricultura (BPA) y las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), las cuales se deben implementar y están acordes con los lineamientos de la economía circular.

Héctor Fabián Betancur Montoya

Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia

Juan Mauricio Rojas A.

Director del Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA

Introducción

La Organización Mundial de la Salud estima que el 80 % de la población mundial utiliza plantas medicinales para la atención primaria de la salud. Según Procolombia, en Colombia hay aproximadamente 400 especies, entre las cuales se destacan la albahaca, la menta, el cebollín, el tomillo y el romero, cuyo volumen de exportación alcanzó en 2020 unas 9.300 t, con un valor de 36,4 millones de dólares (Osorio, 2021¹).

Como parte de las denominadas plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines (PAMCyA), el sistema productivo de menta en Antioquia, especialmente en la subregión del Oriente antioqueño, es importante debido a la generación de empleo y divisas exportables. No obstante, presenta una serie de limitantes de índole agronómica y agroindustrial que hacen que los productores dejen de recibir mayores utilidades.

Aunque la demanda de productos elaborados a base de plantas PAMCyA ha aumentado considerablemente en términos de mercado y exportaciones, también existe un impacto ambiental negativo durante los procesos productivos, causado por la generación de subproductos, principalmente desechos sólidos, al no aprovechar partes de la planta que no se comercializan y se convierten en fuentes de contaminación o biomasa excedentaria. Esta situación ha motivado el interés por el uso de subproductos en diferentes áreas, principalmente la búsqueda de nuevas tecnologías que los utilicen en la producción de materias primas con valor agregado, que contribuyan a la reducción de costos y la reducción del impacto ambiental. En el caso de *Mentha spicata* L., el mercado actual y su inminente crecimiento representan problemas de generación de subproductos a lo largo de la cadena productiva, lo que hace que no todo el material recolectado sea comercializado en su totalidad y se generen residuos de aproximadamente un 40 %.

1 Ver <https://www.analdex.org/2021/10/20/informe-exportaciones-de-hierbas-aromaticas/>

Este documento presenta avances que permiten cerrar brechas tecnológicas en la producción primaria del cultivo, tales como la falta de identidad genética del material plantado, problemas fitosanitarios y prácticas no estandarizadas de fertilización, con un énfasis especial en el aprovechamiento de los subproductos como una nueva fuente de ingresos para los cultivadores de menta en el Oriente antioqueño.

Para ello, se determinó la naturaleza genética del material de menta y se identificó la especie *Mentha spicata* L. como el material plantado en el Oriente antioqueño con fines de exportación o para mercado nacional. Esta información es importante para establecer la ficha técnica de la menta y con ello respaldar la identidad genética de la especie ante las entidades sanitarias de los países importadores. Con el conocimiento del material genético y ante el riesgo que genera el empleo actual del material de siembra por parte de los productores en la transmisión de enfermedades, se desarrolló un modelo de reproducción de semillas de calidad mediante técnicas de cultivo de meristemos *in vitro* para la propagación clonal de plantas libres de patógenos como los virus *Rhizoctonia* sp. y *Fusarium* sp., lo que permitió que la Universidad Católica de Oriente (UCO), a través de la Unidad de Biotecnología, adquiriera las capacidades para ofertar plantas madre de *Mentha spicata* a los productores. Además, con el desarrollo de los protocolos para el diagnóstico de enfermedades virales, a través del laboratorio de sanidad vegetal de la UCO, se ofrece a la región el servicio de apoyo a los productores de la cadena de PAMCyA.

Un aspecto que se debe tener en cuenta para la exportación del producto son los límites máximos de residuos de plaguicidas, aunado a los pocos productos agroquímicos licenciados para el uso en las PAMCyA. En este sentido, se ofrece una alternativa promisorio —que debe ser objeto de estudios complementarios—, a través del empleo de menta con microorganismos endófitos como *Bacillus subtilis* y *Trichoderma asperellum*, que mejoran la tolerancia a problemas fitosanitarios como la pudrición por *Rhizoctonia* sp., tiene efectos positivos en el crecimiento de las plantas e incrementa los contenidos de polifenoles totales y ácido rosmarínico, metabolitos importantes para la industria de alimentos, farmacéutica y cosmética. En el aspecto de plagas, se brindan alternativas de manejo para ser estudiadas por los productores mediante la estrategia de manejo integrado de plagas, a partir de un monitoreo permanente, lo que contribuye al uso racional de los insumos de síntesis química a favor de insumos de síntesis biológica. Es fundamental considerar la racionalización de la fertilización química, orgánica y biológica según los requerimientos de la planta, con miras a obtener producciones rentables y conservar el suelo.

La riqueza fitoquímica del subproducto generado por este sistema productivo es igual al material comercializado para exportación, lo que brinda la posibilidad de agregar valor a la producción, al desarrollar ingredientes naturales de interés en la industria alimentaria que sean atractivos para su utilización biofuncional y además cuenten con las características organolépticas de la menta. Estas particularidades generan riqueza e innovación tecnológica para el territorio y le dan a la producción un enfoque de economía circular, además de disminuir el 50 % de los desperdicios de menta en los cultivos y más del 90 % en las comercializadoras que acondicionan el follaje para exportación.

El desarrollo de productos de alto valor agregado fortalece la formalización de empresas de base tecnológica en la región destinadas a la obtención de bioingredientes y consolida procesos de las biorrefinerías locales. Estos desarrollos cuentan con capacidad local instalada y el acompañamiento de las entidades gubernamentales y de investigación para que las asociaciones de productores puedan escalar sus procesos tecnológicos con base en los resultados del proyecto.

Agradecimientos

14

Capítulo I

Recursos genéticos

Variación somaclonal en menta (*Mentha L.*)

Luis Felipe López Hernández y Andrés Javier Cortés Vera

Mensajes clave sobre la variación somaclonal en menta:

- La variación somaclonal es todo aquel polimorfismo genético que no se da por mutación en las células germinales sino por mutación en la línea somática.
- La menta es una hierba fuertemente perfumada de la familia Lamiaceae, que se cultiva principalmente por propagación clonal, lo que la hace una especie valiosa para el estudio de variantes somaclonales y sus consecuencias fenotípicas.
- Las introducciones recientes de pocas especies de menta en América del Sur, seguidas de una propagación clonal desenfrenada, hacen que esta región sea ideal para estudiar el alcance de la diversidad genética somaclonal.
- Este capítulo caracteriza la diversidad somaclonal codificante de la menta en el norte de los Andes, para identificar si habían surgido variaciones somaclonales a pesar de introducciones relativamente recientes.
- Un total de 29 materiales colectados en granjas de exportación de menta, cultivada por propagación clonal en Antioquia (Colombia), han sido genotificados vía RNAseq.
- La captura de 2.033 loci en 912 transcritos a profundidad de 20X fue efectuada mediante la combinación de protocolos GATK4 + Trinity.
- A partir de los 2.033 loci se realizó un análisis de distancia por UPGMA con 10.000 *bootstrap* y los algoritmos de agrupamiento de machine learning: K-means y AGNES, y se identificaron tres grupos genéticos para *M. spicata* y un grupo genético para *M. piperita*.
- Lo anterior muestra que el origen de la *M. spicata* que se cultiva en la región del Oriente antioqueño para exportación y consumo local tiene posiblemente dos ancestrías que se propagaron clonalmente por la zona.
- Uno de los orígenes de *M. spicata* presentó mayor estructura poblacional que el otro, lo que sugiere que posiblemente existan presiones ambientales o antropológicas que intervinieron en la fragmentación de este grupo genético en la región.

La tasa, el alcance y la arquitectura de las mutaciones *de novo*, así como las variaciones somaclonales, han sido durante mucho tiempo preguntas intrigantes en la evolución molecular. Las características genómicas y las restricciones cromosómicas son determinantes en el conocimiento de estos niveles ocultos de variación genética. Los reordenamientos de segregación inusuales y los altos niveles de ploidía también se consideran potenciadores de la diversidad de nucleótidos en escalas de tiempo evolutivo.

Sin embargo, las variaciones somaclonales en periodos de tiempo más superficiales siguen siendo esquivas (Plomion et al., 2018), debido en parte a su supuesta rareza y a la dificultad para identificarlas. Además, a menudo se supone que son neutrales y su valor adaptativo potencial rara vez se ha probado.

El uso de información transcriptómica hace posible a una mayor resolución capturar la variación somaclonal en variantes alélicas. Estudios comparativos como el de Zhao et al. (2019) sugieren que el sistema más eficaz de reconstruir la matriz de variantes alélicas, a partir de la secuenciación de RNA, es la integración de los algoritmos Trinity como ensamblador *de novo* y GATK (*Genome Analysis Toolkit*) como protocolo de llamado de SNPs. La ejecución del protocolo integrado Trinity + GATK recuperó SNPs con una precisión del 100 % en casos de melocotón y mandarina, y fue la primera vez en ser probado para hierbas perfumadas como la menta.

Los cultivos mantenidos por propagación clonal constituyen campos de juego experimentales únicos para apuntar a variantes somaclonales y explorar sus consecuencias fenotípicas. En particular, las especies que se cultivan por sus órganos no reproductivos tienen graves interrupciones en sus sistemas de floración y fructificación, lo que hace que la clonalidad sea una estrategia de propagación obligatoria. La menta, una hierba fuertemente perfumada de la familia Lamiaceae, es un ejemplo de esto. Varias especies se han utilizado durante siglos con fines medicinales y gastronómicos, incluyendo alrededor de 30 especies y especies híbridas que se distribuyen alrededor del globo (Vining et al., 2020). Más allá de su uso como hierbas, especias y para necesidades farmacéuticas, la destilación de aceites esenciales de la menta comercial (mentol) es hoy en día un producto económico mundial. Sin embargo, el potencial bioeconómico de la menta sigue siendo enorme, debido a los metabolitos secundarios y los usos novedosos que aún no se han descubierto.

A pesar del área de distribución nativa cosmopolita de la menta, el único subcontinente donde tuvieron que introducirse como parte del intercambio colombino fue América del Sur. Las introducciones recientes de pocas especies de menta, seguidas de una propagación clonal desenfundada, hacen de esta

región un escenario ideal para estudiar el alcance de la diversidad genética somaclonal. Por lo tanto, se caracteriza la diversidad somaclonal codificante de la menta en el norte de los Andes, para abordar las siguientes preguntas: ¿Habían surgido variaciones somaclonales a pesar de introducciones relativamente recientes? ¿En qué medida albergan potencialmente consecuencias fenotípicas?

Herramientas para el estudio de la variación somaclonal

A partir del recurso genético de menta en el noroeste de los Andes, se desarrolló una investigación para el estudio de la variación somaclonal con 38 materiales colectados en 14 fincas productoras en la región del oriente del departamento de Antioquia (Colombia), entre septiembre y diciembre de 2019, y bajo condiciones protegidas y de libre exposición. De los 38 materiales colectados, 36 correspondían a *Mentha spicata* y 2 a *Mentha piperita*.

Personal especializado de la Universidad Católica de Oriente (UCO) y productores de cada predio identificaron los materiales en cada especie. Las muestras colectadas consistieron en tallos con raíces, las cuales fueron entregadas a la UCO para su reproducción clonal, con el fin de disponer de suficiente material endurecido para su procesamiento por secuenciación de ARN (ARNseq), en conjunto con la colección de referencia de la UCO para las especies mencionadas.

Estudio de la diversidad transcriptómica de la menta

Con el fin de recuperar la mayor cantidad y calidad de RNA de la menta colectada, se realizó un experimento comparativo de protocolos de extracción. Se efectuaron seis protocolos diferentes de extracción de RNA, en el laboratorio de genética molecular del Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA (Mosquera, Colombia), en dos muestras aleatorias de *M. piperita* y *M. spicata*, además de las referencias proporcionadas por la UCO para las mismas especies. Los protocolos evaluados fueron: 1) casero Agrosavia; 2) casero Agrosavia, modificado en volúmenes y tiempo; 3) casero Agrosavia con variaciones para especies con altos contenidos de polisacáridos y polifenoles; 4) casero Agrosavia con Trizol; 5) kit comercial Qiagen RNeasy Plant Mini Kit, y 6) kit comercial Qiagen RNeasy Plant Mini Kit con Trizol. El ARN genómico se extrajo a 29 individuos a partir de las hojas de las muestras almacenadas a -80 °C, mediante el kit de extracción comercial de ARN Qiagen RNeasy Plant Mini Kit. La cuantificación de ADN extraído se realizó por método de espectrofotometría con el equipo Nanodrop® 2000 (Thermo Fischer Scientific, Estados Unidos), y por método fluorimétrico con el fluorómetro Qubit® dsDNA HS (Life Technologies, Suecia). La construcción de librerías se realizó a partir

del kit Sure Select Strand-Specific RNA[®] para secuenciación multiplexada por Illumina[®]. Las librerías se cuantificaron por medio del método fluorimétrico en el fluorómetro Qubit[®] dsDNA HS. La concentración y los tamaños de los fragmentos de las librerías de cDNA se evaluaron en el equipo TapeStation 4200[®] (Agilent Technologies, Estados Unidos) y el kit High Sensitivity D1000. Las secuencias de ADN fueron obtenidas mediante el secuenciador HiSeq de Illumina 2500 (Macrogen, Corea del Sur) en un solo sentido (*single-end*).

Con el fin de depurar los datos de la secuenciación de RNAseq, se corrió una rutina automatizada usando el programa Trimmomatic (Bolger et al., 2014) con los parámetros principales: ILLUMINACLIP:TruSeq3-SE:2:30:10, ventana SLIDINGWINDOW:4:20 y MINLEN:50. Posteriormente, se realizó un análisis de la calidad de los archivos *fastq* mediante el programa FastQC (Andrews, 2010), a través de la codificación 1,9 de Illumina. Estudios comparativos como el de Zhao et al. (2019) sugieren que el sistema más eficaz para reconstruir la matriz de variantes genómicas informativas (SNPs), a partir de RNAseq, es la integración de los algoritmos Trinity + GATK. De este modo, se obtuvo el transcriptoma *de novo* de las 29 muestras de menta por medio del programa Trinity (Grabherr et al., 2011) en la plataforma en el proyecto Galaxy versión 2.9.1 (Afgan et al., 2018).

El supertranscrito es útil al ser una referencia para mapear lecturas e identificar polimorfismos alélicos en el contexto de ensamblaje *de novo* sin genoma de referencia. Un supertranscrito se construye colapsando regiones de secuencias únicas y comunes entre isoformas de empalme en una sola secuencia lineal (Davidson et al., 2017). De este modo, en la misma plataforma Galaxy versión 2.9.1 (Afgan et al., 2018), se obtuvo el supertranscrito mediante Trinity para ser usado como referencia en el protocolo de llamado de variantes de GATK4.

Con el fin de identificar polimorfismos alélicos entre las 29 muestras de menta, se construyó un script para automatizar el proceso de llamado de variantes con la función *Haplotype Caller* del protocolo GATK4 (McKenna et al. 2010) con BWA-MEM. Los estadísticos del mapeo se obtuvieron a partir de la función *flagstat* (Li et al., 2009) en la plataforma Samtools 1,9, en el proyecto Galaxy versión 2.0.3 (Afgan et al., 2018). La matriz de SNPs se filtró usando el programa Tassel 5.2.78 (Bradbury et al., 2007), a una profundidad de 20X y porcentaje de datos perdidos por loci de 96 %.

A partir de la identificación de polimorfismos alélicos consolidados en una matriz de SNPs, se realizó un análisis de reducción dimensional lineal por componentes principales moleculares PCA con la función *glPca* del paquete R *adegenet* 2.1.4 (Jombart, 2008). Posteriormente, con el fin de encontrar una subestructura en los conjuntos de *Mentha spicata* y *Mentha piperita*, se realizó un agrupamiento particional y jerárquico a partir de las variables

reducidas. Paralelamente, se corrió un proceso de validación de clustering por medio de la función *optCluster* del paquete R *optCluster* (Sekula et al., 2017), una versión optimizada de la función *clValid* (Brock et al. 2008). Los algoritmos comparados en *optCluster* fueron los algoritmos particionales: K-means (MacQueen, 1967; Lloyd, 1982) y k-medoids (Kaufman & Rousseeuw, 2009); los algoritmos jerárquicos: AGNES (AGglomerative NESTing) y DIANA (Divisive analysis) (Kaufman & Rousseeuw, 2009). Los métodos de validación usados en *optCluster* fueron algoritmo genético y entropía cruzada. También se ejecutó un algoritmo usado ampliamente en ciencia de datos para validación de clustering llamado *NbClust* (Charrad et al. 2014). Por otro lado, se reconstruyó un dendrograma UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) con muestreo aleatorio *bootstrap* de 10.000 réplicas con la función *aboot* del paquete R *poppr* (Kamvar et al., 2014).

Recomendaciones para optimizar perfiles de ARN

Los 38 materiales colectados y las referencias de *M. piperita* y *M. spicata* se llevaron al invernadero de la UCO para aclimatación homogénea en las mismas presiones ambientales de humedad y temperatura por un periodo de nueve meses. La Unidad de Sanidad Vegetal reportó que todos los materiales se encontraban en estado óptimo de conservación y propagados clonalmente para disponer de suficiente material foliar para la preparación de librerías.

De los seis protocolos realizados a las muestras de menta, el kit comercial Qiagen® RNeasy Plant Mini Kit permitió obtener una mejor calidad de concentración y relaciones de absorbancia A260/A280 y A260/230. Posteriormente, se realizó la extracción de RNA mediante kit comercial a los 29 materiales en estado óptimo de conservación, donde se encontró una concentración media de ARN (ug/uL) de 922,0206897 (IC: 236,5158607), usando Nanodrop®, concentración media Qubit® (ug/uL) de 94,79172414 (IC: 8,775199689), relación media A260/280 de 2,11034483 (IC: 0,016035813) y relación media A260/230 de 2,014827586 (IC: 0,228618311).

Las 29 librerías genéticas construidas para secuenciación presentaron una concentración media Qubit® (ug/uL) de 18,77241379 (IC: 5,542889311), un tamaño medio de fragmento (bp) de 282,6551724 (IC: 3,099013281) y una cuantificación media TapeStation® de 99,96206897 nM (IC: 29,16482462). Los electroferogramas para cada material sugirieron la distribución de los fragmentos con picos definidos, sin presencia de contaminantes. La información genética de todas las muestras se componía de secuencias con score mayor a 30 usando la codificación 1,9 de Illumina, sin presencia de adaptadores, y con altos porcentajes de duplicación y desviación de GC, lo que era de esperarse en datos RNAseq.

El ensamblaje del transcriptoma sin genoma de referencia mediante Trinity, a partir de todos los *fastqc* depurados, se compone de 509.754 transcritos con una longitud media de 557,9 pb, mínima de 178 pb, máxima de 12.186 pb y porcentaje GC de 43,2 %. El transcriptoma presenta isoformas de empalme que podrían incrementar la tasa de falsos positivos en el llamado de variantes alélicas. Así, a partir del transcriptoma y los *fastqc* depurados, se construyó un supertranscrito que colapsa regiones de secuencias únicas y comunes entre isoformas de empalme en una sola secuencia lineal. El supertranscrito se compone de 352.512 transcritos con una longitud media de 472,2 pb, mínima de 201 pb, máxima de 15.765pb y porcentaje GC de 43,1 %.

Variación somaclonal revela grupos crípticos en menta

A partir de la información transcriptómica de los 29 materiales de menta, se obtuvo una matriz de variantes alélicas del supertranscrito construido a partir del mismo set de trabajo, usando la combinación de protocolos GATK + Trinity, dedicados a datos RNAseq para llamado de SNPs.

A partir de la información de variantes alélicas, también se hizo un análisis de reducción dimensional lineal por componentes principales como entrada a algoritmos de agrupamiento (por ejemplo, k-means, k-medoids y jerárquicos), así como análisis de distancia para visualización por dendograma. Todos los algoritmos muestran ampliamente la diferencia entre materiales de *M. piperita* y *M. spicata*, lo que comprueba el uso de *M. piperita* como control para la exploración de la diversidad genética de *M. spicata*. El análisis de búsqueda de número óptimo de clúster y el dendograma por UPGMA sugieren la presencia de tres posibles grupos de *M. spicata* y uno de *M. piperita*.

Siguiendo el protocolo GATK4, se desarrolló un *script* para automatizar el proceso para su reproducción. De los 29 materiales, se tuvo una media global de 15.588.705 (IC: 1.368.899) de lecturas, de las cuales se mapearon un total de 15.136.482 (IC: 1.403.825), lo que sugiere un porcentaje de mapeo del 96,81 %. Se presentó un alto contenido de lecturas duplicadas en el mapeo, con un promedio de 11.257.168 (IC: 1.166.846). Al ser removidos en el protocolo GATK4, se obtuvo un promedio de 3.879.314 (IC: 293.552) lecturas sin duplicados para el conjunto de 29 materiales. Finalmente, se obtuvo una matriz de variantes alélicas de 2.033 loci en 912 transcritos para las 29 muestras, a profundidad de 20X y porcentaje de datos perdidos por loci de 96 %.

Con el fin de explorar la variabilidad genética de la menta que actualmente se produce en el Oriente antioqueño, se realizó un análisis de agrupamiento vía PCA y agrupamiento por distancias genéticas mediante UPGMA.

A partir de los 2.033 loci distribuidos en 912 transcritos, se hizo una reducción dimensional de componentes principales, donde el primer componente explica el 58,552 % de la varianza, el segundo componente, un 22,274 % y el tercero, un 11,283 %. A partir de los tres primeros componentes principales (92,109 %), se corrió el análisis de validación de clustering, donde los algoritmos *NbClust* y *optCluster*, validados por algoritmo genético y entropía cruzada, sugirieron un total de cuatro clústeres.

Por otro lado, los mejores algoritmos de reconstrucción del agrupamiento fueron K-means y AGNES, los cuales generaron la misma organización de muestras. Finalmente, el enfoque UPGMA muestra cuatro grupos diferenciados por *bootstrap*, tal como se dispone en la figura 1.1. En los cuatro grupos genéticos obtenidos por enfoques de algoritmos de agrupamiento parcial y por distancia genética, se mostró que el grupo *M. piperita* está ampliamente diferenciado del resto. Los grupos restantes son todos *M. spicata*, que se dividen en tres grupos (A, B y C), donde A y B tiene muy poca divergencia frente al primer componente y están distantes frente a C, por el segundo.

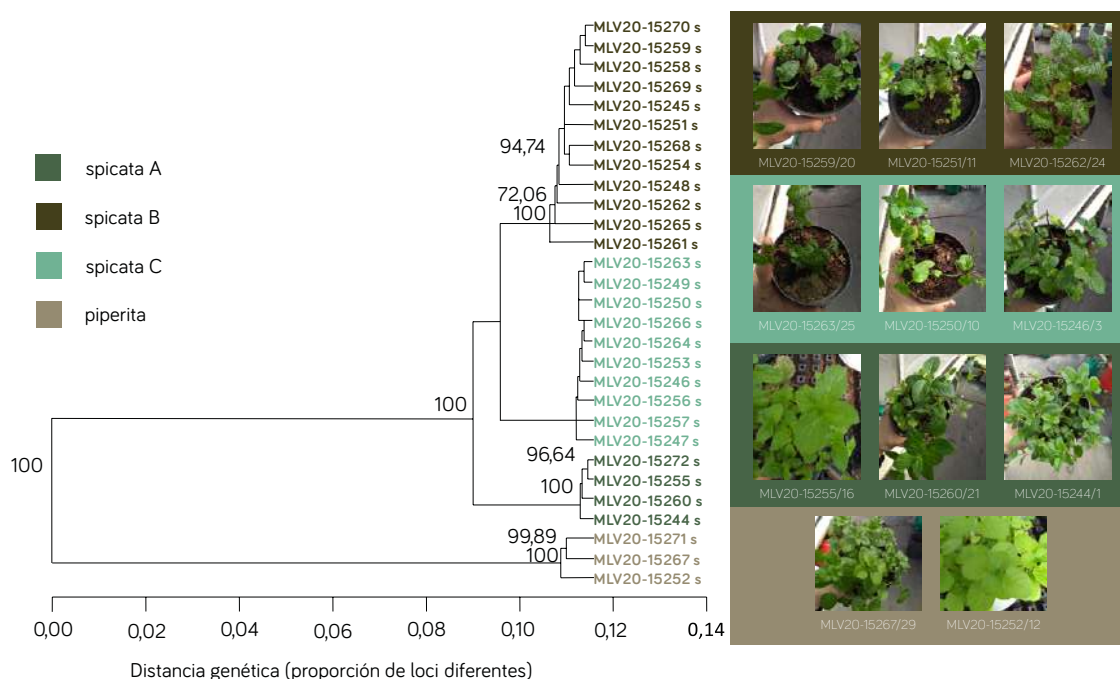


Figura 1.1. Dendrograma reconstruido por UPGMA, a partir de los 2.033 loci distribuidos en 912 transcritos, con metodología de validación por remuestreo aleatorio *bootstrap*, con 10.000 iteraciones, basados en la distancia de *Nei*. Se evidencia la presencia de cuatro grupos genéticos validados por *bootstrap* de 100 %.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El origen de la menta que se cultiva en la región oriente de Antioquia para exportación y consumo local tiene posiblemente dos orígenes, tal vez debido a su propagación clonal por toda la zona productiva.

Uno de los posibles orígenes de *M. spicata* presentó mayor estructura poblacional que el otro, lo que sugiere presiones ambientales o antropológicas que intervinieron en la fragmentación de este grupo genético.

Referencias

- Afgan, E., Baker, D., Batut, B., Van Den Beek, M., Bouvier, D., Čech, M., Chilton, J., Clements, D., Coraor, N., Grüning, B. A., Guerler, A., Hillman-Jackson, J., Hiltemann, S., Jalili, V., Rasche, H., Soranzo, N., Goecks, J., Taylor, J., Nekrutenko, A., & Blankenberg, D. (2018). The Galaxy platform for accessible, reproducible and collaborative biomedical analyses: 2018 update. *Nucleic Acids Research*, 46(W1), W537-W544. <https://doi.org/10.1093/nar/gky379>
- Andrews, S., Krueger, F., Segonds-Pichon, A., Biggins, L., Krueger, C., & Wingett, S. (2010). FastQC. A quality control tool for high throughput sequence data. *Babraham Bioinformatics*, 370.
- Bolger, A. M., Lohse, M., & Usadel, B. (2014). Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. *Bioinformatics*, 30(15), 2114-2120. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu170>
- Bradbury, P. J., Zhang, Z., Kroon, D. E., Casstevens, T. M., Ramdoss, Y., & Buckler, E. S. (2007). TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples. *Bioinformatics*, 23(19), 2633-2635. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btm308>
- Brock, G., Pihur, V., Datta, S., & Datta, S. (2008). cValid: An R package for cluster validation. *Journal of Statistical Software*, 25, 1-22. <https://www.jstatsoft.org/article/view/v025i04>
- Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., Niknafs, A., & Charrad, M. M. (2014). Package 'nbclust'. *Journal of Statistical Software*, 61, 1-36. <https://www.jstatsoft.org/article/view/v061i06>
- Davidson, N. M., Hawkins, A. D., & Oshlack, A. (2017). SuperTranscripts: A data driven reference for analysis and visualisation of transcriptomes. *Genome Biology*, 18(1), 1-10. <https://genomebiology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13059-017-1284-1>
- Grabherr, M. G., Haas, B. J., Yassour, M., Levin, J. Z., Thompson, D. A., Amit, I., Adiconis, X., Fan, L., Raychowdhury, R., Zeng, Q., Chen, Z., Mauceli, E., Hacohen, N., Gnirke, A., Rhind, N., Di Palma, F., Birren, B. W., Nusbaum, C., Lindblad-Toh, K., Friedman, N., & Regev, A. (2011). Full-length transcriptome assembly from RNA-Seq data without a reference genome. *Nature Biotechnology*, 29(7), 644-652.

- Jombart, T. (2008). Adegnet: a R package for the multivariate analysis of genetic markers. *Bioinformatics*, 24(11), 1403-1405. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btn129>
- Kamvar, Z. N., Tabima, J. F., & Grünwald, N. J. (2014). Poppr: an R package for genetic analysis of populations with clonal, partially clonal, and/or sexual reproduction. *PeerJ*, 2, e281. <https://peerj.com/articles/281/>
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (2009). *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis* (Vol. 344). John Wiley & Sons.
- Li, H., Handsaker, B., Wysoker, A., Fennell, T., Ruan, J., Homer, N., & Durbin, R. (2009). The sequence alignment/map format and SAMtools. *Bioinformatics*, 25(16), 2078-2079. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btp352>
- Lloyd, S. P. (1982). Least-Squares Quantization in PCM. *IEEE Transactions on Information Theory*, 28, 129-137.
- MacQueen, J. B. (1967). *Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. University of California Press.
- McKenna, A., Hanna, M., Banks, E., Sivachenko, A., Cibulskis, K., Kernytsky, A., Garimella, K., Altshuler, D., Gabriel, S., Daly, M., & DePristo, M. A. (2010). The genome analysis toolkit: a MapReduce framework for analyzing next-generation DNA sequencing data. *Genome Research*, 20(9), 1297-1303. <https://genome.cshlp.org/content/20/9/1297.full.pdf>
- Plomion, C., Aury, J. M., Amselem, J., Leroy, T., Murat, F., Duplessis, S., Faye, S., Francillonne, N., Labadie, K., Le Provost, G., Lesur, I., Bartholomé, J., Faivre-Rampant, P., Kohler, A., Leplé, J. C., Chantret, N., Chen, J., Diévar, A., Alaeitabar, T., Barbe, V., & Salse, J. (2018). Oak genome reveals facets of long lifespan. *Nature Plants*, 4, 440-452. <https://www.nature.com/articles/s41477-018-0172-3>
- Sekula, M., Datta, S., & Datta, S. (2017). optCluster: An R package for determining the optimal clustering algorithm. *Bioinformatics*, 13(3), 101. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28584451/>
- Vining, K. J., Hummer, K. E., Bassil, N. V., Lange, B. M., Khoury, C. K., & Carver, D. (2020). Crop wild relatives as germplasm resource for cultivar improvement in mint (*Mentha L.*). *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01217>
- Zhao, Y., Wang, K., Wang, W. L., Yin, T. T., Dong, W. Q., & Xu, C. J. (2019). A high-throughput SNP discovery strategy for RNA-seq data. *BMC Genomics*, 20(1), 1-10. <https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-019-5533-4>

Material de siembra en el cultivo de hierbabuena o menta verde

Dagoberto Castro Restrepo, María Isabel Domínguez Rave y Jesús Jaiber Díaz García

El género *Mentha* tiene un genoma complejo con alto nivel de poliploidía, es decir, son plantas que contienen más de dos juegos completos de cromosomas. Esta es una forma de evolución de la especie y una manera de adaptarse a diferentes condiciones ambientales, que le ha permitido establecerse en todo el mundo (Heylen et al., 2021). La *M. spicata* pertenece a la familia Lamiaceae, con origen en el norte de Inglaterra y cultivada en zonas climáticas tropicales y templadas. Debido a la presencia de ácidos fenólicos, flavonoides, carvona y ácido ascórbico en las hojas, se utiliza en la industria alimenticia, farmacéutica y ornamental, con importantes efectos antimicrobianos y antioxidantes, así como en el tratamiento de enfermedades gastrointestinales y hepáticas (Kee et al., 2017).

Propagación a partir de semilla sexual

La *M. spicata* es una especie que requiere condiciones estacionales para la producción de la semilla sexual. La menta verde es un híbrido poliploide estéril, lo que dificulta su reproducción convencional para mejorar los cultivos. Debido a su amplia diversidad genética y a la tendencia a cruzarse con otras especies de la misma familia, la propagación por semilla presenta alta variabilidad en la altura de las plantas, contenidos de aceite, olor y sabor, entre otros (Tucker et al., 2012). Sin embargo, para quienes quieren seleccionar nuevos materiales, esta es una oportunidad para desarrollar su propio clon o material de siembra.

Propagación vegetativa o asexual

En vista de las dificultades de *M. spicata* para la reproducción por semilla sexual, la forma más segura para su multiplicación es mediante esquejes o rizomas, que garantizan que las características de las plantas cumplan los requisitos requeridos por los mercados nacionales e internacionales. Es importante aclarar que la denominación de *semilla* se hace tanto para semilla sexual como para semilla asexual o vegetativa. Por lo tanto, debido a que la reproducción de este cultivo es mediante propagación vegetativa, nos estaremos refiriendo en adelante a semilla asexual, que debe reunir ciertas características de calidad para garantizar el éxito del cultivo.

Semilla de calidad

En el caso de la menta, semilla de *alta calidad* se refiere a los esquejes o estolones libres de patógenos, que correspondan a la variedad requerida, la calidad física de las plantas, la calidad del sustrato, la adaptación a las condiciones ambientales específicas y los tipos de metabolitos secundarios. El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2015) define la alta calidad como “el conjunto de atributos de la semilla que involucra factores genéticos, físicos, fisiológicos y fitosanitarios”. La ventaja de utilizar semilla de calidad previene la introducción y/o propagación de muchas enfermedades no deseadas en el cultivo.

Cuando se realiza la propagación vegetativa, se corre el riesgo de multiplicar algunas enfermedades como los virus, viroides, fitoplasmas, bacterias y algunos hongos que se desarrollan en la planta de manera endógena y sistémica, y que tienen la capacidad de transmitirse a las siguientes generaciones. Este problema se denomina *degeneración de la semilla*, que se debe a la ausencia de programas de certificación de materiales libres de patógenos (Sharma et al., 2017).

Cuando se utilizan semillas vegetativas de plantas que tienen alguna de estas enfermedades, no existe forma de realizar manejo químico o biológico y el único método de control es la erradicación, lo que implica pérdidas económicas importantes para el productor.

En la tabla 1.1 se muestra la lista de algunos agentes fitopatógenos que pueden ser transmitidos a través de la semilla vegetativa y que fueron identificados en cultivos comerciales de menta en algunos municipios del Oriente antioqueño.

Tabla 1.1. Algunos patógenos en *Mentha spicata* que pueden transmitirse a partir de esquejes o rizomas encontrados en cultivos del Oriente antioqueño

Nombre del patógeno	Acónimo / síntoma	Transmisión	Forma de diagnóstico
Virus del mosaico del cocombro	CMV	Áfidos, semilla	ELISA, PCR
Virus del bronceado del tomate	TSWV	Trips, semilla	ELISA, PCR
Potyvirus	Poty	Áfidos, semilla	ELISA, PCR
Virus del mosaico del tabaco	TMV	Contacto	ELISA
<i>Rhizoctonia</i> spp.	Pudrición basal	Suelo, semillas	Medios de cultivo
<i>Fusarium</i> spp.	Marchitez	Suelo, semillas	Medios de cultivo
<i>Verticillium</i> sp.	Marchitez	Suelo, semillas	Medios de cultivo
<i>Meloidogyne</i> spp.	Nudos radicales	Suelo, semillas	Diagnóstico de laboratorio

Fuente: Elaboración propia

La figura 1.2 muestra plantas de *M. spicata* afectadas por los virus CMV, TSWV y Potyvirus, los cuales fueron identificados mediante técnicas de PCR (reacción en cadena de la polimerasa). El gran riesgo que se corre al utilizar semilla a partir de estas plantas infectadas es que el patógeno puede distribuirse a todo el cultivo y afectar completamente la calidad del material producido, además de facilitar su dispersión en todo el territorio al intercambiar semilla con otros productores. En caso de encontrar síntomas similares a los presentados, se sugiere acudir al ICA o a laboratorios de diagnóstico para su identificación.



Figura 1.2. Síntomas de plantas de *M. spicata* afectadas por **a.** Virus TSWV; **b.** Virus CMV; **c.** Potyvirus.

Fotos: María Domínguez

Producción de semilla de calidad

Resultaría muy costoso desarrollar una sola planta libre de varios de los patógenos que se presentan en la tabla 1.1; por ello, se han desarrollado técnicas de laboratorio para la reproducción masiva de materiales de siembra. Esta se denomina micropropagación y consiste en la siembra de un meristemo o ápice meristemático en un medio artificial de cultivo para luego realizar la multiplicación.

Micropropagación de la menta para la producción de plantas núcleo

El proceso de micropropagación de la menta se inicia con la selección de las plantas madre, las cuales deben tener características de calidad y producción adecuadas para el mercado de exportación o para la producción de aceites esenciales. Las plantas iniciales son diagnosticadas en laboratorio mediante la técnica de ELISA (*Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay* o ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas), que permite detectar si el virus se encuentra en el tejido de la planta. De igual manera, se emplea una técnica más eficaz como la PCR, que permite detectar los virus en las fases más tempranas de la enfermedad. Una vez se tiene una planta completamente diagnosticada

para los virus, se procede al aislamiento de un tejido llamado meristemo, que corresponde a un grupo de células responsables del crecimiento ubicado en los ápices de las plantas, los entrenudos y las puntas de las raíces.

El meristemo se siembra en un medio de cultivo artificial que contiene sales minerales, vitaminas, sacarosa y reguladores de crecimiento; el proceso incluye cuatro fases: i) establecimiento del meristemo en el medio de cultivo; ii) multiplicación o proliferación; iii) enraizamiento *in vitro*, y iv) climatización o endurecimiento de las plantas en vivero (Castro et al., 2011).

La ventaja de utilizar este procedimiento de micropropagación (propagación *in vitro*) es que, a partir de un solo meristemo, como en el caso de la menta, se pueden producir más de mil individuos en tiempos relativamente cortos, en poco espacio, con la garantía de mantener la misma información fenotípica y genotípica de la planta inicial y libre de patógenos.

Certificación de las plantas de menta

En términos legales, el proceso de certificación de materiales de siembra para Colombia está a cargo del ICA. Se inicia con la propagación de plantas garantizadas libres de patógenos (plantas núcleo), las cuales se utilizan para el establecimiento de “bloques madres”, que pueden ser multiplicadas en un vivero registrado ante el ICA o por el productor, para introducirlo directamente en su cultivo. Sin embargo, vale la pena mencionar que para el caso de algunas plantas de interés condimentario, medicinal y aromático, existe una legislación en torno a la semilla sexual certificada, pero no es explícita la certificación de material de menta propagado vegetativamente.

Manejo de plantas madre o plantas para semilla básica

Este proceso se puede asimilar al que se emplea para la producción de material de alta calidad en ornamentales y tubérculos, que parte de plantas micropropagadas (plantas super élite), las cuales serán el inicio de plantas madre o plantas básicas. Para su manejo, se sugiere utilizar la siguiente estrategia:

- A partir de la planta madre *in vitro* o garantizada libre de virus, sembrarlas y mantenerlas en un invernadero con cubierta de plástico y con paredes en malla antiáfidos; en algunos lugares se les denomina “casa-malla”, con un piso en grava, cemento o tela cubresuelo. Para las etapas iniciales, es recomendable utilizar una malla de polisombra (malla sarán), del 40 al 60 % de retención de luz y una antecámara que impida el ingreso directo de insectos que puedan ser vectores de virus y otras enfermedades.

- Los módulos para la siembra pueden ser variados: camas en el suelo, camas levantadas en diversos materiales como madera inmunizada, plástico o ladrillo.
- Sustratos: i) arena, que implica la utilización de riego por goteo o cinta exudante, y ii) mezclas de suelo con compost y arena.

Los sustratos deben ser desinfectados por solarización, que consiste en someter el sustrato a la acción del sol durante 3 a 4 semanas; para ello, este debe estar herméticamente recubierto con un plástico transparente calibre 6. Una vez cumplido ese lapso, se recomienda la utilización de hongos antagonistas como *Trichoderma* spp., los cuales se aplican en forma de drench.

- Para el manejo de las plantas madre es recomendable realizar un “pinch” o poda del brote apical para permitir la emisión de tallos laterales. Para mantener la planta madre en estado juvenil, es necesario cortar los esquejes con la mayor frecuencia posible.

La importancia de utilizar plantas certificadas o de calidad fitosanitaria conocida radica en que la calidad de la semilla juega un papel clave en el éxito del cultivo y ayuda a prevenir la introducción o propagación de muchas enfermedades. Evidencia de ello es la presencia de virus como el CMV y TSWV, que en algunos cultivos comerciales ha presentado pérdidas del 100 %.

Producción de esquejes a partir de plantas madre

Generalmente, corresponde a esquejes que permiten mantener las características de la planta original. La técnica de propagación es bastante sencilla, rápida y de bajo costo para el productor. A continuación, se indica el proceso para su producción:

- Infraestructura: se recomienda utilizar cámaras de enraizamiento, las cuales se construyen con plástico soportado por madera, tubos plásticos o varillas de 2 x 1,5 x 0,4 m de altura, completamente hermético.
- Se seleccionan esquejes de aproximadamente 10 a 15 cm de longitud.
- Sustratos: se han ensayado varias alternativas, como una mezcla de suelo, arena y compost, en proporciones iguales; luego, estos sustratos son solarizados para disminuir el riesgo de arvenses y plagas. También se ha utilizado con éxito fibra de coco o arena.

- Tipo de recipiente para el enraizamiento: se sugiere utilizar bandejas semilleras.
- La adición de hongos formadores de micorrizas en el fondo del sustrato mejora el enraizamiento y la absorción de nutrientes, especialmente del fósforo.

La figura 1.3 muestra un esqueje derivado de plantas madre.



Figura 1.3. Esqueje de menta derivado de una planta madre.

Foto: María Domínguez.

Referencias

Castro, D., Díaz, J., Osorio, E., Martínez, T., Urrea, P., & Muñoz, D. (2011). *Importancia de la calidad del material de siembra en plantas medicinales*. Universidad Católica de Oriente.

Heylen, O. C. G., Debortoli, N., Marescaux, J., & Olofsson, J. K. (2021). A revised phylogeny of the *Mentha spicata* clade reveals cryptic species. *Plants*, 10(4), 819. <https://doi.org/10.3390/plants10040819>

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 3168. "Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones". <https://bit.ly/3JFTzPK>

Kee, L., Bakr, A., & Salihin, A. B. (2017). Bioactivity and health effects of *Mentha spicata*. *Integrative Food, Nutrition and Metabolism*, 5(1), 1-2. <https://www.oatext.com/bioactivity-and-health-effects-of-mentha-spicata.php>

Sharma, T., Piedra, J., Yepes, J., Hernández, F. N., Jeger, M. J., Jones, A. C., Kromann, P., Legg, J., Forbes, Y., & Garrett, K. A. (2017). A risk assessment framework for seed degeneration: Informing an integrated seed health strategy for vegetatively propagated crops. *Phytopathology*, 107(10), 1123-1135. <https://doi.org/10.1094/PHTO-09-16-0340-R>

Tucker, A. O. (2012). Genetics and breeding of the genus *Mentha*: a model for other polyploid species with secondary constituents. *Journal of Medicinally Active Plants*, 1(1), 19-29. <https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=jmap>



Capítulo II

31

**Aspectos sobre
el manejo agronómico**

Manejo integrado de plagas en menta

José Antonio Rubiano Rodríguez, Karen Lorena Ballestas Álvarez,
Carolina Ortiz Muñoz, Germán Franco y Luis Eladio Castro Tabares

Según la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF, 2022), una plaga es “cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal, o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales”. Sin embargo, en términos más prácticos y propicios para este documento, podemos definir que una plaga agrícola es un conjunto o población de artrópodos que se alimentan de plantas y su densidad poblacional es suficiente para ocasionar una pérdida económica al productor (Jiménez, 2009).

La entomofauna asociada al cultivo de menta es diversa. Algunas especies se consideran plaga y otras podrían ser potencialmente calificadas como tal. Entre las plagas se pueden resaltar las cuarentenarias y de importancia en los cultivos con fines de exportación, que son objeto de revisión y pueden ser interceptadas en los puertos de destino, casos en los cuales el producto es rechazado, lo que ocasiona una pérdida económica para el productor. A continuación, se describen las principales plagas que se han encontrado y que causan daños en cultivos de menta del Oriente antioqueño, tanto bajo cubierta como a campo abierto, incluyendo las cuarentenarias y otras que pueden ser plagas potenciales, así como la forma del daño y algunas estrategias evaluadas experimentalmente para su control.

Mariposas y polillas (lepidópteros)

El cultivo de menta se ve afectado por un complejo de mariposas o polillas, entre las que se encuentran especies pertenecientes a la familia Noctuidae, tales como *Trichoplusia* sp. (figuras 2.1a y 2.1b), *Copitarsia* sp. (figuras 2.1c y 2.1d) y *Spodoptera* spp. (figuras 2.1e y 2.1f) (Quimbayo et al., 2010). También hay otros lepidópteros que se encuentran con frecuencia haciendo daño en el cultivo, como el gusano Santamaría (*Spilosoma* sp.) de la familia Artiidae (figuras 2.1g y 2.1 h). Los estados larvales actúan como comedores de hojas y llegan a ocasionar grandes defoliaciones según el instar, debido al consumo de follaje y al corte de ramas y tallos tiernos. Este daño conlleva un deterioro en el peso y la calidad del producto final, tanto para exportación como para otros mercados (Castro et al., 2013).

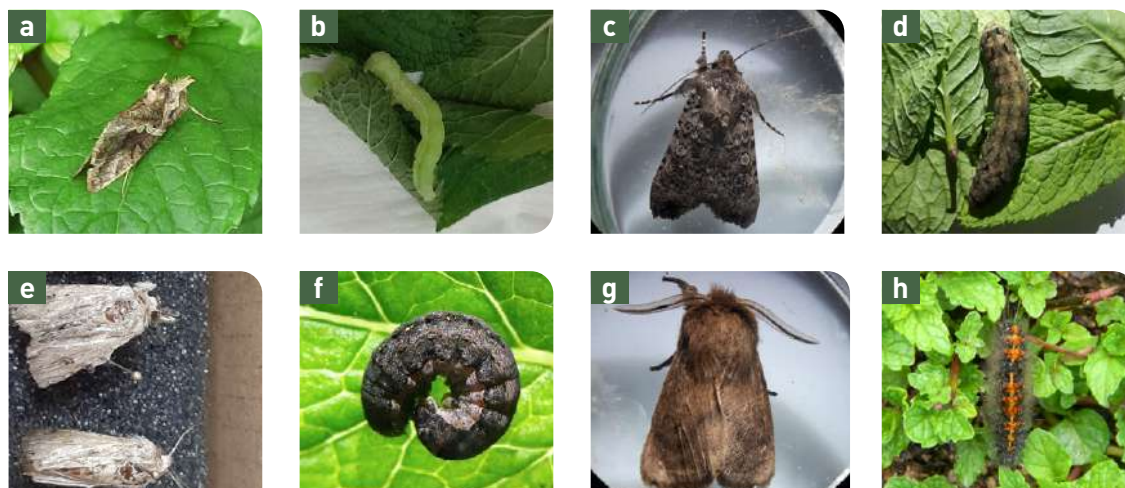


Figura 2.1. Adultos y larvas de lepidópteros en menta. **a. y b.** *Trichoplusia* sp.; **c. y d.** *Copitarsia* sp.; **e. y f.** *Spodoptera* spp.; **g y h.** *Spilosoma* sp.

Fotos: José A. Rubiano y Karen Ballestas

En menta para exportación se ha encontrado la especie *Spodoptera* spp., cuyos huevos, semiesféricos y reticulados, son puestos tanto en el envés como en el haz de las hojas y pueden durar hasta siete días; las larvas pasan por cinco o seis instares, que pueden llegar a durar hasta 28 días, y las pupas generalmente son de color marrón y pueden durar hasta 15 días enterradas en el suelo, hasta la emergencia de los adultos, que generalmente son polillas de hábitos nocturnos (Guzmán et al., 2016). Dependiendo de la especie, los huevos son puestos individualmente o en masa. La figura 2.2 muestra huevos de *Trichoplusia* sp., *Copitarsia* sp. y *Spodoptera* spp.



Figura 2.2. Huevos individuales y en masa de lepidópteros. **a.** *Trichoplusia* sp.; **b.** *Copitarsia* sp.; **c.** *Spodoptera* spp.

Fotos José A. Rubiano y Karen Ballestas

Estrategias de manejo para lepidópteros

Teniendo como base la producción limpia, se pueden recomendar algunas prácticas de manejo enfocadas en la protección del medio ambiente. La liberación de enemigos naturales como *Trichogramma exiguum* (Pinto & Platner), parasitoide de huevos de lepidópteros (Basso et al., 2020), a una dosis de 150 pulgadas²/ha, es una práctica eficaz para el manejo de esta plaga. Una correcta liberación consiste en poner dentro de un vaso una cartulina con dos pulgadas² del parasitoide (figura 2.3a) y colgarlo sobre estacas de madera dentro de la cama del cultivo, a una distancia de 1 m, hasta liberar la dosis recomendada (figura 2.3b). Otro enemigo natural es *Chrysoperla externa* (Hagen), depredador de huevos y de los primeros instares de lepidópteros (Hernández-Juárez et al., 2015), el cual se libera en dosis de 75.000 larvas/ha (su presentación es en bolsas de 1.000 o 5.000 larvas mezcladas con huevos de *Sitotroga cerealella* [Olivier] y cascarilla de arroz), de tal forma que queden bien distribuidas en toda el área. También existen otros productos biológicos que se aplican en bomba de espalda, como *Bacillus thuringiensis* (Berliner), que controla larvas hasta de tercer instar, *Beauveria bassiana* (Balsamo) y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff), que controlan larvas de todos los instares e incluso llegan a afectar las pupas. Estos productos se deben usar en las dosis recomendadas en la etiqueta del producto. Para reducir poblaciones de adultos, se recomienda instalar trampas con feromonas y atrayentes con maleza al 50 % (figura 2.3c). Como última medida de control —y si llegara a ser necesario—, se pueden aplicar productos de síntesis química como cipermetrina (0,5 cc/L).



Figura 2.3. Manejo de lepidópteros. **a.** Disposición del *Trichogramma* sp.; **b.** Forma como se distribuye el *Trichogramma* sp. en campo; **c.** Trampas para atraer adultos.

Fotos: José A. Rubiano y Karen Ballestas

Ácaros

El cultivo de menta se ve afectado por ácaros (Correa, 2014) como *Tetranychus urticae* (Koch) (Tetranychidae) (figura 2.4) y *Brevipalpus* sp. (Tenuipalpidae). Tanto huevos como estados inmaduros y adultos se encuentran en el envés de las hojas, donde rompen la parte superficial y chupan la savia. Los síntomas de daño característicos son la formación de puntos blancos que se observan en el haz de las hojas (figura 2.5) y, en altas poblaciones, su encrespamiento (Bonilla & Guerrero, 2010). Este daño conlleva pérdidas en calidad y rendimiento del producto final, ya que las hojas son el principal órgano de la planta que se comercializa. Los huevos son redondos, hialinos en el caso de *T. urticae* (figura 2.6), mientras que los de *Brevipalpus* sp. son un poco alargados y de color naranja, y se presentan tres estados inmaduros que van cambiando de tamaño y forma hasta llegar al estado adulto de un tamaño aproximado de 0,7 mm, con cuatro pares de patas y duración del ciclo de aproximadamente 25 días desde el huevo hasta el adulto (Casuso et al., 2020).



Figura 2.4. Adultos de *T. urticae* en menta.

Foto: José A. Rubiano



Figura 2.5. Hojas con síntomas de daños por ácaros.

Foto: Germán Franco



Figura 2.6. Huevos y adulto de *T. urticae*.

Foto: Karen Ballestas

Estrategias de manejo de ácaros

Un manejo integrado de los ácaros debe iniciar con monitores semanales y con la remoción de los residuos de cosecha, ya que estos llegan a ser fuentes de inóculo de la plaga. Entre los insumos biológicos para controlar poblaciones de los ácaros están la liberación del depredador *C. externa* y la aplicación de hongos entomopatógenos como *B. bassiana* y *M. anisopliae*, y de productos de origen natural como el extracto de ajo-ají y jabón potásico en dosis de 2 cc/L, que han dado buenos resultados para su control (Amaya et al., 2008). Es importante tener en cuenta la fertilización controlada de nitrógeno, pues sus excesos favorecen el aumento de las poblaciones; además, se debe tratar de conservar la fauna benéfica, como los ácaros fitoseidos, que son depredadores de otros ácaros.

Chizas

Son larvas de coleópteros (figura 2.7), también llamadas mojoyoy o gallinaciega, y existen diferentes especies que atacan diversos cultivos como la menta. Los géneros más comunes en el Oriente antioqueño son: *Cyclocephala* sp., *Ancognatha* sp., *Astaena* sp. y *Plectris* sp. (Londoño et al., 2001). La mayoría de las especies tienen ciclos de vida anuales, en cuyas épocas de lluvia salen los adultos a copular y a poner los huevos en el suelo (Pardo-Locarno & Montoya, 2007). Generalmente, se alimentan de las raíces de las plantas y sus ataques son localizados, por lo que se puede observar el marchitamiento en las plantas afectadas, de forma más frecuente en los suelos que provienen de pastos o gramíneas (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2010). Cuando las poblaciones son superiores a cinco larvas por sitio de muestreo, se reduce significativamente el desarrollo de las plantas de menta. Para realizar el monitoreo de larvas se hacen tres huecos por cama, de 30 x 30 cm de ancho x 20 cm de profundidad (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [Intagri], 2017).



Figura 2.7. Larvas de chizas colectadas manualmente.

Foto José A. Rubiano.

Estrategias de manejo de chizas

Inicialmente, es necesario realizar un monitoreo de esta plaga con trampas de luz (figura 2.8a), que se deben instalar en la época de lluvia, cuando eclosionan los adultos del suelo. En el momento de preparar la cama para una siembra o renovación, se recogen manualmente todas las larvas que estén expuestas y se destruyen o se sumergen en agua caliente. Cuando el cultivo está establecido, se pueden aplicar al suelo o en el fertirriego hongos entomopatógenos como *B. bassiana* y *M. anisopliae*, que afectan larvas de cualquier instar (figura 2.8b). También se pueden aplicar bacterias como *Bacillus popilliae* Dutky (Intagri, 2017).



Figura 2.8. Estrategias de manejo para chiza. **a.** Trampas de luz para captura de adultos; **b.** Larvas afectadas por hongos entomopatógenos.

Fotos: José A. Rubiano y Karen Ballestas

Crisomélidos

Son coleópteros de diferentes colores y tamaños, también llamados vaquitas. En estado larval se alimentan de las raicillas de las plantas y en estado adulto hacen perforaciones redondeadas en las hojas (figuras 2.9a y 2.9b), por lo que reducen considerablemente la capacidad fotosintética de la planta (Vanegas, 2017). Existen varias especies de crisomélidos que se han encontrado atacando el cultivo de menta en el Oriente antioqueño, como *Epitrix* sp. (figura 2.10a), *Diabrotica* sp. (figura 2.10b), *Colaspis* sp. (figura 2.10c) y *Systema* sp. (figura 2.10d), entre otras. La duración del ciclo de vida dependerá de la especie, pero en promedio es de 33 a 40 días (Burgos-Solorio & Anaya-Rosales, 2004).

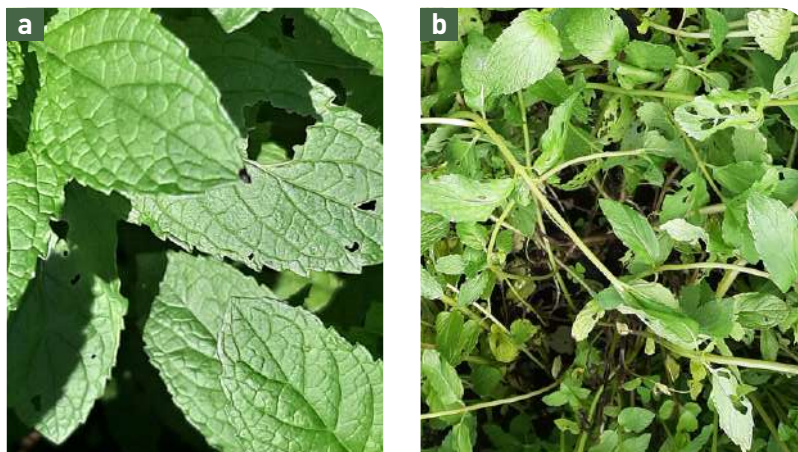


Figura 2.9. Síntomas de daño por crisomélidos. **a.** Daño inicial; **b.** Daño avanzado.

Fotos: José A. Rubiano y Karen Ballestas

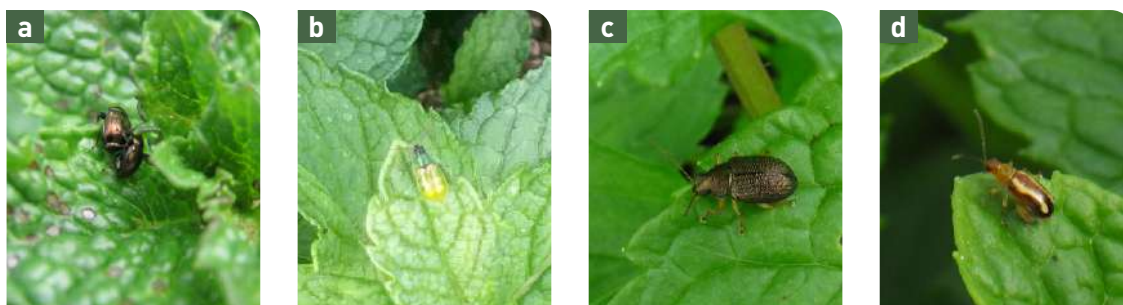


Figura 2.10. Crisomélidos que atacan menta. **a.** *Epitrix* sp.; **b.** *Diabrotica* sp.; **c.** *Colaspis* sp.; **d.** *Systena* sp.

Fotos José A. Rubiano y Karen Ballestas

Estrategias de manejo de crisomélidos

El control de arvenses en las camas resulta una buena práctica de manejo para evitar que estos insectos tengan hospederos alternos que les permitan aumentar sus poblaciones, lo cual se debe complementar con un monitoreo semanal. Los adultos son atacados de forma natural por chinches (redúvidos) y, como control biológico, se pueden aplicar los hongos *B. bassiana* y *M. anisopliae* (IICA, 2010), al igual que jabón potásico en dosis de 3 cc/L de agua. Cuando se presenta daño severo y se logran visualizar altas poblaciones, se sugiere la aplicación de un producto de síntesis química, siguiendo las recomendaciones de la etiqueta.

Chinches

Grupo de insectos chupadores que se alimentan de la savia de las plantas. Se han observado varias familias como Cydnidae (figura 2.11a), Pentatomidae (figura 2.11b), Miridae (figura 2.11c) y Pyrrhocoridae (figura 2.11d), que se posan sobre las hojas de la menta y pueden estar o no alimentándose (De la Mora-Estrada et al., 2017). Dentro los miríidos está *Horciasisca signatus* (Distant) (figura 2.12), el cual se observó con mayor frecuencia en los cultivos de menta en el Oriente antioqueño y se le relaciona con un manchado que se presenta en las hojas jóvenes, denominado peca (figura 2.13); al parecer, está asociado a un patógeno de carácter fúngico (*Ascochyta* sp.) que ocasiona los puntos necróticos en la hoja. Debido a las manchas observadas, los productores llaman a esta plaga chinche tatuador.

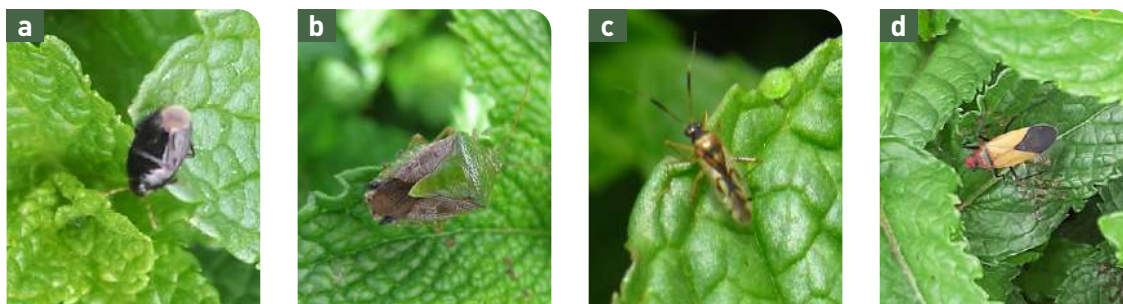


Figura 2.11. Familias de chinches encontrados en cultivos de menta.
a. Cydnidae; **b.** Pentatomidae; **c.** Miridae; **d.** Pyrrhocoridae.

Fotos: José A. Rubiano y Karen Ballestas



Figura 2.12. *Horciasisca signatus*.

Foto: José A. Rubiano



Figura 2.13. Síntomas de la peca en su estado inicial.

Foto: Karen Ballestas

Estrategias de manejo de chinches

Una práctica importante para el manejo de los chinches es el control de plantas arvenses, tanto dentro de las camas como a los alrededores, ya que estas sirven como hospederos alternos y pueden albergar varias especies. Otra práctica que ha dado buenos resultados es la aplicación de hongos entomopatógenos a base de *B. bassiana*, *M. anisopliae* e *Isaria fumosorosea* (Wize), los cuales se pueden utilizar individualmente o mezclados, en dosis de 2 g/L de agua. Cuando sea necesario, se puede recurrir a una aplicación de choque con insecticidas de síntesis química como tiametoxam + lambdacihalotrina, de acuerdo con las recomendaciones de la etiqueta.

40

Mosca blanca

Son pequeñas polillas o mosquitas de color blanco que, en todos sus estados (huevos, pupas y adultos) (figura 2.14a, 2.14b y 2.14c), se posan principalmente en el envés de las hojas y se alimentan de la savia de las plantas. Su importancia radica es la transmisión de diferentes tipos de virus (Fandiño, 2016) y en Antioquia se han encontrado dos especies: *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) y *Bemisia tabaci* (Gennadius). La más común en menta es *T. vaporariorum*, cuyo ciclo de vida es de aproximadamente 30 días (Fandiño, 2016).



Figura 2.14. Mosca blanca. **a.** Adultos; **b.** Huevos; **c.** Pupas.

Fotos: José A. Rubiano y Karen Ballestas

Estrategias de manejo de mosca blanca

Además del monitoreo frecuente, una práctica fundamental es el control de malezas dentro y entre las camas, con el fin de remover hospederos alternos. Se pueden hacer liberaciones del depredador *C. externa* y aplicaciones con hongos entomopatógenos como *I. fumosorosea* y *Lecanicillum lecani* (Zimm), en dosis de 2 cc/L de agua. Además, existen algunos enemigos que pueden actuar naturalmente en campo como *Amitus fuscipennis* (MacGown & Nebeker), *Encarsia nigricephala* (Dozier), *Eretmocerus californicus* (Howard) y depredadores como *Delphastus pusillus* (LeConte) (Villegas, 2016). Adicionalmente, cuando se presenten altos niveles de infestación de la plaga, se recomienda el control químico con insecticidas como etofenprox (1 cc/L) y tiametoxam (0,3 g/L).

Áfidos o pulgones

Son pequeños insectos, por lo general de color verde. En el cultivo de menta pueden estar presentes diferentes especies como *Myzus persicae* (Zulser) (figura 2.15a), que es quizá la más importante dentro del grupo de los áfidos (Bonilla & Guerrero, 2010). Generalmente, los pulgones forman colonias (figura 2.15b) que chupan la savia de las plantas, lo que ocasiona clorosis y encrespamiento de las hojas e impide su comercialización. El principal problema de esta plaga es la transmisión de virus (Simbaqueba et al., 2014). En el trópico solo existe la reproducción partenogenética y todas las generaciones son solo vivíparas, cuyo ciclo de vida puede durar entre 8 y 10 días (Rubiano-Rodríguez et al., 2019).

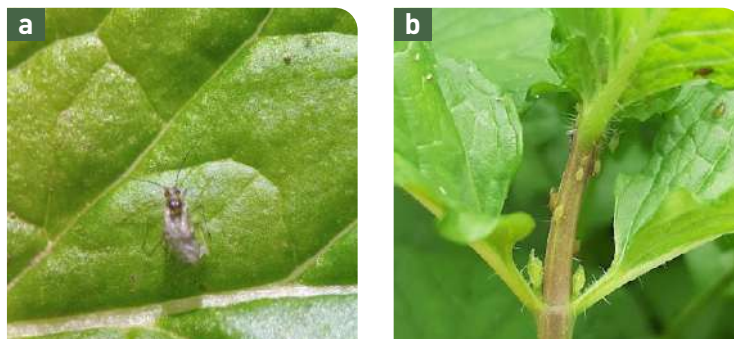


Figura 2.15. Áfidos. **a.** Adulto alado de *M. persicae*; **b.** Colonia de áfidos.

Fotos: José A. Rubiano y Karen Ballestas

Estrategias de manejo de áfidos o pulgones

Con el objetivo de remover hospederos alternos, que son las principales fuentes de alimentación de los pulgones, es indispensable realizar control de malezas dentro y entre las camas. Asimismo, liberar el depredador *C. externa*, que es su enemigo natural por excelencia (figura 2.16a), y aplicar el hongo entomopatógeno *I. fumosorosea* en dosis de 2 cc/L de agua ha mostrado un buen control (figura 2.16b). Los productos de origen natural como el extracto de ajo-ají, Neem y jabón potásico, en dosis de 2 cc/L de agua, son una buena alternativa dentro del concepto de producción limpia. Únicamente cuando sea necesario, se debe recurrir a una aplicación de choque con insecticidas de síntesis química como tiametoxam + lambdacialotrina, en dosis de 0,5-1 cc/L de agua.

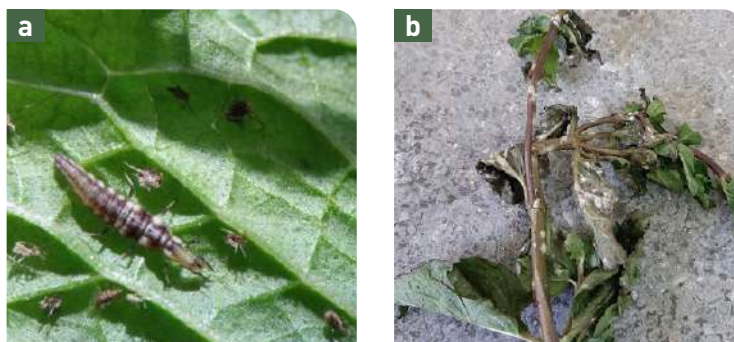


Figura 2.16. Enemigos naturales de áfidos. **a.** *Cryosperla externa*; **b.** Áfidos parasitados por *I. fumosorosea*.

Fotos: José A. Rubiano y Karen Ballestas

Babosas

Las babosas son moluscos similares a los caracoles, pero no presentan concha, su cuerpo es blando, de consistencia mucosa, no tienen patas y se arrastran por el suelo dejando un rastro de baba sobre la superficie por donde pasan (Bonilla & Guerrero, 2010). Varían de color y tamaño según la especie (figuras 2.17a y 2.17b) y, aunque no son insectos, sí son consideradas plagas. En menta se han convertido en una peste de gran importancia, ya que en temporadas lluviosas, y especialmente en las noches, son muy activas al consumir las hojas de las plantas, dejando unas perforaciones que hacen inservible el follaje para su comercialización.

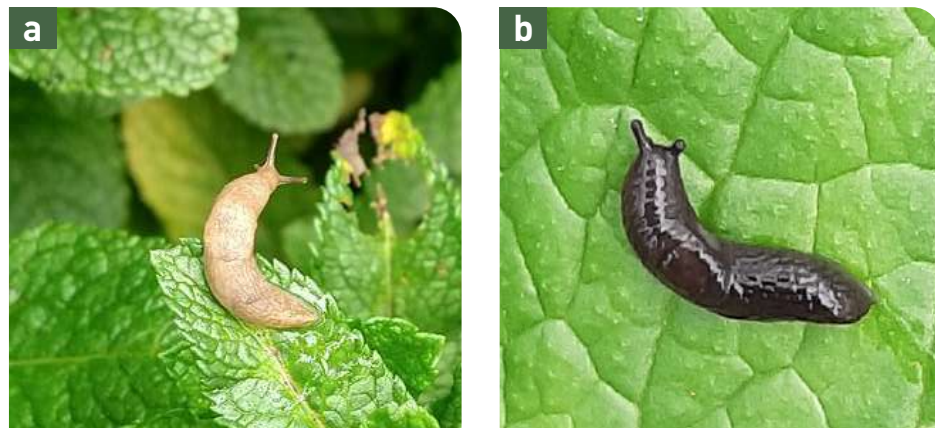


Figura 2.17. Babosas. **a.** *Deroceras reticulatum*; **b.** *Deroceras leaf*.

Fotos: José A. Rubiano y Karen Ballestas

Estrategias de manejo de babosas

Por lo general, para el control de babosas se utiliza el método cultural y químico. El primero incluye una buena preparación del terreno al momento de hacer las camas, dejando expuestos tanto los huevos como los adultos para que se deshidraten, y la instalación de trampas (como tejas, tablas y costales impregnados con cerveza) en focos y áreas externas del cultivo donde se refugian, las cuales deben ser inspeccionadas diariamente en horas de la mañana para eliminar las babosas que se encuentren. El control químico consiste en la aplicación de cebos tóxicos a base de carbamatos y metaldehídos, así como molusquidas granulares en dosis de 4 kg/ha (Bonilla & Guerrero, 2010).

Referencias

- Amaya, D., Barrera, A., Hilarión, A., Bustos, A., & Cantor, F. (2008). Evaluación de la efectividad de dos hongos entomopatógenos y un extracto vegetal, para el control de *Tetranychus urticae*, en condiciones de laboratorio. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1), 62-69. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2232/1939>
- Basso, C., Chiaravalle, W., & Maignet, P. (2020). Effectiveness of *Trichogramma pretiosum* in controlling lepidopterous pests of soybean crops. *Agrociencia Uruguay*, 24(NE2), 419. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482020000402306
- Bonilla, C. R., & Guerrero, M. R. (2010). *Mentha* (*Mentha* spp.). *Producción y manejo poscosecha*. Cámara de Comercio de Bogotá, Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12923>
- Burgos-Solorio, A., & Anaya-Rosales, S. (2004). Los crisomelinos (Coleoptera: Chrysomelidae: Chrysomelinae) del estado de Morelos. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(3), 39-66. <https://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v20n3/v20n3a4.pdf>
- Castro, D., Díaz, J., Serna, R., Martínez, M. D., Urrea, P. A., Muñoz, K. & Osorio, E. (2013). *Cultivo y producción de plantas aromáticas y medicinales* (2.ª ed). Universidad Católica de Oriente.
- Casuso, N., Smith, H., & Lopez, L. (2020). *La araña roja, Tetranychus urticae: ciclo de vida*. EDIS, 2. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/IN1287>
- Convención Internacional de Protección Fitosanitaria [CIPF]. (2022). *Glosario de términos fitosanitarios NIMF 5*. <https://www.fao.org/3/mc891s/mc891s.pdf>
- Correa, G. (2014). *Manual del cultivo de las plantas condimentarias de exportación bajo buenas prácticas agrícolas*. Gobernación de Antioquia.
- De la Mora-Estrada, L. F., Ruiz-Montoya, L., Ramírez-Marcial, N., Morón-Ríos, A., & Mayor-ga-Martínez, M. C. (2017). Diversidad de chinches (Hemiptera: Heteroptera) en bosques secundarios de pino-encino de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 86-105. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.016>
- Fandiño, G. M. (2016). *Manejo integrado de la mosca blanca (Homóptera: Aleyrodidae) en cultivos de tomate (Solanum lycopersicum) en condiciones de invernadero* [Tesis de pregrado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://bit.ly/42gKiEV>
- Guzmán, D. A., Rodríguez, J., & Valencia, S. J. (2016). *Identificación de estadios larvales de lepidópteros-Plaga de maíz*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/CIAT_IDENTIFICACION_DE_ESTADIOS_LARVALES_DE_LEPIDOPTEROS_PLAGA_MAIZ-v2.pdf
- Hernández-Juárez, A., Aguirre-Urbe, L.A., Gonzáles-Ruiz, A., Chacón-Hernández, J. C., Landeros-Flores, J., Cerna-Chávez, E., Flores-Dávila, M., & Harris, M. (2015). Impact of endosulfan on the predatory efficiency larval *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) on the

eggs of *Heliiothis virescens* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *The Canadian Entomologist*, 148(1), 112-117.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2010). *Guía de identificación y manejo integrado: plagas del frijol en Centroamérica*. <http://repiica.iica.int/docs/B1885e/B1885e.pdf>

Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [Intagri]. (2017). *Manejo integrado de la gallina ciega*. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/manejo-integrado-de-la-gallina-ciega>

Jiménez, E. (2009). *Métodos de control de plagas*. Universidad Nacional Agraria. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10J61me.pdf>

Londoño, M. E., Arias, J. H., Giraldo, R. A., & Ríos, A. M. (2001). *Conozca las chizas del Oriente antioqueño y su distribución*. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17811>

Pardo-Locarno, L. C., & Montoya, J. (2007). Ciclo de vida, importancia agrícola y manejo integrado de la chisa rizófaga *Phyllophaga menetriesi* Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae), en Cauca y Quindío, Colombia. *Acta Agronómica*, 56(4), 195-202. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169913316007>

Quimbayo, N., Serna, F. J., Olivares, T., & Angulo, A. (2010). Nóctuidos (Lepidoptera) en cultivos de flores colombianas. *Revista Colombiana de Entomología*, 36(1), 38-46. <https://revistacolombianaentomologia.univalle.edu.co/index.php/SOCOLEN/article/view/9117/11609>

Rubiano-Rodríguez, J. A., Fuentes-Contreras, E., & Ramírez, C. (2019). Variabilidad genética neutral y presencia de mecanismos de resistencia en *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae), provenientes de diferentes hospedantes en Chile central. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 611-633. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1589

Simbaqueba C. R., Serna, F., & Posada-Flórez, F. J. (2014). Curaduría, morfología e identificación de áfidos (Hemiptera: Aphididae) del Museo Entomológico UNAB. Primera aproximación. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 18(1), 222-246. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682014000100017

Vanegas, J. A. (2017). *Establecimiento de una hectárea de frijol (Phaseolus vulgaris) variedad cargamanto rojo en el municipio de Rioblanco Tolima para la comercialización en grano seco* [Tesis de pregrado]. Universidad de La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1029&context=ingenieria_agronomica

Villegas, L. I. (2016). *Componentes para el manejo integrado de plagas de Mentha spicata en cultivos del Oriente antioqueño* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58371>

Actualización del estatus de los problemas fitosanitarios en menta en el Oriente antioqueño

Bertha Miryam Gaviria Gutiérrez, Luis Eladio Castro Tabares,
Diana Yurladi Vanegas Álvarez y Dagoberto Castro Restrepo

Mentha spicata L., *M. piperita* L. y otras especies de la familia Lamiaceae (o labiadas) tienen una demanda a nivel mundial como plantas aromáticas, especias y medicinales (Bonilla & Guerrero, 2010; Castro et al., 2011; Villegas, 2016). Estas requieren en su biomasa (follaje) sostenibilidad y calidad fitosanitaria, y que sus compuestos bioactivos estén disponibles para la agroindustria, medicina y cosmetología, entre otros (Shahid et al., 2013; Santoro et al., 2013). En Colombia, en especial en zonas productoras del departamento de Antioquia, la menta se propaga vegetativamente mediante esquejes, por lo que está en riesgo de multiplicar problemas fitosanitarios producidos por hongos, bacterias, virus, nematodos y otros (Castro et al., 2011; Correa, 2014).

En términos generales, desde el punto de vista fitosanitario, las enfermedades de importancia económica de la menta en todo el mundo se relacionan con *Puccinia menthae*, *Alternaria alternata*, *Verticillium dahliae*, *Phoma stasserti*, *Rhizoctonia solani*, *Erysiphe cichoracearum*, nematodos del género *Meloidogyne* y virus como el CMV (*Cucumber Mosaic Virus*), el AMV (*Alfalfa Mosaic Virus*) y el TSWV (*Tomato Spotted Wilt Virus*) (Tzanetakis et al., 2010; Johnson, 2014; Villegas, 2016). Por ello, se requiere actualizar las problemáticas fitosanitarias de acuerdo con las condiciones productivas locales, que den cuenta de las afecciones patogénicas en el material de siembra y en la biomasa producto de la cosecha, junto con el cumplimiento de la calidad genética y un adecuado desarrollo fisiológico y fitosanitario, a fin de garantizar una adecuada producción y proveer subproductos que den respuesta a la biotransformación.

A través de visitas, reuniones y entrevistas a productores en municipios del departamento de Antioquia, como Medellín (Santa Elena), El Retiro, Rionegro, La Unión, Guarne, La Ceja, El Carmen de Viboral, San Vicente de Ferrer y Marinilla, se realizó un monitoreo sistemático al azar en once unidades productivas de menta, en el cual se tomaron muestras de suelo y de plantas, tallos, raíces y hojas afectadas por diferentes síntomas fitosanitarios, que fueron transportadas en bolsas plásticas para el proceso de análisis fitosanitario en el Laboratorio de Sanidad Vegetal de la UCO.

Se encontraron sintomatologías relacionadas con disturbios abióticos (amarillamientos y quemazón de las puntas de las plantas por efectos de materias orgánicas) y bióticos. El cultivo se estaba viendo afectado por algunos síntomas, todavía no muy claros para el agricultor, como entorchamiento y atrofia de cogollo (posible virus), lesiones necróticas en rizomas, raíces y tallos, así como manchas necróticas, moteados cloróticos y pústulas en hojas. A continuación, se presentan los síntomas más prevalentes.

Roya

La roya, *Puccinia menthae* Pers., se observó en el 44 % de las muestras colectadas con presencia de pústulas (soros) anaranjadas, principalmente en el envés de las hojas. Se sabe que en otros cultivos puede llegar a ser una enfermedad devastadora, debido que es de fácil trasmisión a través del viento, la lluvia, las herramientas de trabajo, las mascotas y el contacto humano, que genera tallos deficientes y destruye el tejido fotosintético, además de producir defoliación y, por consiguiente, una pérdida de rendimiento (Johnson, 2014) (figuras 2.18a y 2.18b).

Pudrición de la base del tallo y de las hojas

El hongo *Rhizoctonia* sp., presente en el 67 % de las zonas monitorizadas cultivadas con menta, presenta características sintomatológicas de lesiones y pudrición de raíz, de tallo y de rizomas jóvenes; así, la plántula puede marchitarse y, en consecuencia, disminuir su desarrollo y productividad o morir (Nitzan et al., 2012) (figuras 2.18c y 2.18d).

Nematodos

Durante las visitas de campo, se observaron pequeñas agallas (nudos poco visibles) en raíces, relacionadas con nematodos del género *Meloidogyne*. No obstante, en el país se han identificado poco las especies parásitas asociadas a varios cultivos de las unidades productivas de especies aromáticas, medicinales y afines, entre estos la menta, y hay una escasa referencia bibliográfica, en particular sobre este cultivo. En campo se encontró una dinámica poblacional alta, principalmente de la especie más prevalente, *M. javanica*, que se registró en el 78 % de los municipios muestreados. Es importante aclarar que los nematodos pasan por cuatro mudas (J1, J2, J3 y J4), entre las cuales J2 corresponde a los estadios infestivos, que producen mayores afectaciones en las raíces. En ese orden de ideas, se han encontrado poblaciones entre 70 y 2.541 J2 por 100 cc de suelo y entre 4 y 8.665 J2 por g de raíz, los cuales posiblemente afectan el

desarrollo de las plantas o provocan heridas, que se convierten en puerta de entrada para el establecimiento de bacterias y hongos como *Rhizoctonia* sp. (figuras 2.18e, 2.18f y 2.18g).

Virus

Para la determinación de virus, las muestras con síntomas de entorchamiento apical fueron sometidas a análisis de PCR en el Laboratorio de Biología Molecular de la UCO, donde el 22 % resultaron positivas para CMV I (Cucumber Mosaic Virus, serotipo I) y TSWV (Tomato Spotted Wilt Virus) (figura 2.18h).

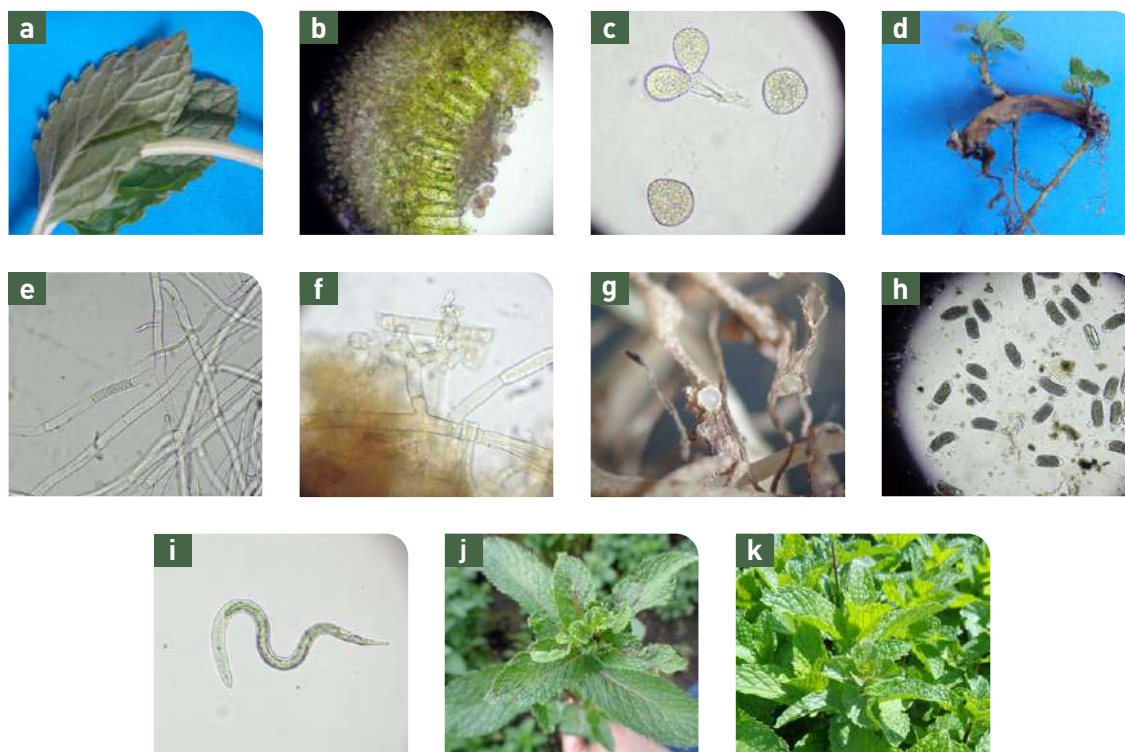


Figura 2.18. Síntomas y signos de problemas fitosanitarios en menta cultivada en el Oriente antioqueño.
a. Pústulas (soros) anaranjadas de roya; **b.** Conjunto Urediniosporas de roya (10X);
c. Urediniosporas de roya (40X); **d.** Rizoma con lesión necrótica en tallo y raíces por *Rhizoctonia* sp.;
e. Características morfológicas hifas, septas (10X); **f.** Ramificación en ángulo recto de *Rhizoctonia* sp. (40X);
g. Nudo, masa de huevo y hembra de *Meloidogyne* en raíces; **h.** Huevos de *Meloidogyne*;
i. Larva J2 de *Meloidogyne*; **j.** Lesión rojiza y entorchamiento en cogollos de la planta por virus, San Vicente de Ferrer; **k.** Entorchamiento en cogollos de la planta por virus, El Carmen de Viboral.

Fotos: Bertha Gaviria

Recomendaciones de manejo de problemas fitosanitarios

Se recomienda el uso de medidas de prevención. Iniciar, en lo posible, con material vegetal libre de patógenos, limpio (procedente de viveros registrados ante el ICA; puede solicitar garantía de proveedor) y con bioinoculantes biológicos, no solo para el manejo de patógenos del suelo como el hongo *Rhizoctonia* sp., o de los nematodos formadores de agallas en las raíces como *Meloidogyne* sp., sino también para el desarrollo sostenible económico y ambiental del cultivo.

Para el manejo o control del nematodo de nudos *Meloidogyne* sp. y de hongos como *Rhizoctonia* sp. y otros, es efectiva la aplicación de bioinoculantes con mix de los ingredientes activos de los hongos micorrícicos *Rhizophagus irregularis*, *Rhizophagus clarus*, *Rhizophagus aggregatus*, *Rhizophagus proliferum* y *Claroideoglomus etunicatum*, en dosis de 3 cc/L de agua, al iniciar la siembra.

Para la prevención del daño por insectos plaga se realizó la aplicación de entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii*, *Paecilomyces fumosoroseus*, en dosis de 2 cc/L de agua. También son efectivos para las problemáticas del suelo los bioinoculantes a manera de mix: *Bacillus polymyxa*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma koningii*, *Trichoderma viride* y *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus amyloliquefacien*, además de *Pochonia chlamydosporia*. La primera aplicación de los bioinoculantes a base de mix de las bacterias u hongos relacionados anteriormente puede hacerse preferiblemente 3 días antes de la siembra, la segunda 15 días después de la siembra y luego cada 30 días.

Es indispensable seguir las recomendaciones contenidas en la ficha técnica y en la hoja de seguridad del producto, y usar siempre los elementos de protección personal en cada aplicación de los bioinoculantes.

Conclusiones

Se requiere promover actividades de socialización con los agricultores sobre el estatus fitosanitario actualizado para esta región de cultivo de plantas aromáticas medicinales, condimentarias y afines, así como sobre las alternativas de manejo, para que sean integradas en los programas de producción familiar y comercial del cultivo de la menta.

Referencias

- Bonilla, C. R., & Guerrero, M. R. (2010). *Menta* (*Mentha spp.*). *Producción y manejo poscosecha*. Cámara de Comercio de Bogotá, Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12923>
- Castro, D., Díaz, J., Serna, R., Martínez, M. D., Urrea, P. A., Muñoz, K. & Osorio, E. (2013). *Cultivo y producción de plantas aromáticas y medicinales* (2.ª ed). Universidad Católica de Oriente.
- Correa, G. (2014). *Manual del cultivo de las plantas condimentarias de exportación bajo buenas prácticas agrícolas*. Gobernación de Antioquia.
- Johnson, D. A. (2014). Slow-rusting resistance in native spearmint to *Puccinia menthae*. *Plant Disease*, 98(1), 62-66. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-13-0353-RE>
- Nitzan, N., Chaimovitch, D., Davidovitch-Rekanati, R., Sharon, M., & Dudai, N. (2012). *Rhizoctonia* web blight. A new disease on mint in Israel. *Plant Disease*, 96(3), 370-378. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-11-0271>
- Santoro, M., Nieves, F., Zygadlo, J., Giordano, W., & Banchio, E. (2013). Effects of growth regulators on biomass and the production of secondary metabolites in peppermint (*Mentha piperita*) micropropagated *in vitro*. *American Journal of Plant Sciences*, 4(5A), 49-55. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2013.45A008>
- Shahid, M., Shahzad, A., Malik, A., & Sahai, A. (2013). *Recent trends in biotechnology and therapeutic applications of medicinal plants*. Springer.
- Tzanetakis, I., Postman, J., Samad, A., & Mart, R. (2010). Mint viruses: Beauty, stealth and disease. *Plant Disease*, 94(1), 4-12. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-1-0004>
- Villegas, L. I. (2016). *Componentes para el manejo integrado de plagas de Mentha spicata en cultivos del Oriente antioqueño* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58371>

Utilización de endófitos en plántulas de menta

Dagoberto Castro Restrepo, María Isabel Domínguez Rave, Bertha Myriam Gaviria Gutiérrez, Diana Yurladi Vanegas y Luis Eladio Castro Tabares

Los endófitos son microorganismos presentes en las plantas, pero que no causan síntomas de enfermedades. Los registros de fósiles de plantas indican que estas han estado asociadas con hongos micorrícicos y bacterias, así como con hongos endofíticos por más de 400 millones de años. Ello quiere decir que se asociaron desde que las plantas colonizaron la Tierra, lo cual cumple un importante rol en la evolución de la vida en el planeta (Rodríguez et al., 2009).

La simbiosis entre la planta y el microorganismo requiere una estrecha coordinación de su fisiología, su estructura y sus ciclos de vida. Esta asociación beneficia a las dos partes, debido a que las plantas hospedantes albergan y protegen al endófito, el cual, a su vez, promueve el crecimiento de estas mediante funciones como la solubilización de fósforo y potasio, la fijación del nitrógeno y la síntesis de fitohormonas (Zhao et al., 2015). De igual manera, los microorganismos endofíticos son un método de control biológico, pues estos compiten con los patógenos por los mismos lugares dentro de la planta y tienen la capacidad de liberar sustancias antibióticas y compuestos orgánicos. En el caso de las plantas medicinales, los endófitos pueden producir metabolitos bioactivos e inducir la producción de metabolitos secundarios. La simbiosis entre plantas y microorganismos es un proceso evolutivo altamente especializado y su interacción ocurre tanto en la zona radical como en la parte aérea de las plantas.

51

Simbiontes que se asocian a las raíces (microorganismos rizosféricos)

Los principales grupos de microorganismos, aunque difieren en sus mecanismos de infección y formas de vida, desarrollan un papel importante como simbiontes. Estos son:

Hongos micorrícicos arbusculares (HMA): son simbiontes obligados de las plantas, los cuales no pueden ser cultivados y no pueden desarrollarse si no existe una planta huésped, aunque algunas especies como *Rhizophagus* spp. se pueden cultivar *in vitro* en placas de dos compartimentos, donde es posible recolectar material fúngico de un compartimento solo para hongos (Rosikiewicz et al., 2017).

Los HMA forman asociaciones con la mayoría de las plantas terrestres. Su infección y establecimiento dentro de las raíces es un proceso complejo de redes y señales químicas entre el hongo y la planta hospedante que, como se mencionó anteriormente, ha evolucionado por millones de años. Una vez el hongo se asocia a la raíz, forma estructuras lobuladas relativamente grandes denominadas arbusculos, que se localizan dentro de la pared celular del huésped y la membrana celular de la planta (Harman & Uphoff, 2019). Estas asociaciones de hongos con las raíces de las plantas mejoran su desarrollo debido a un incremento en la absorción de nutrientes poco móviles como el fósforo y la producción de compuestos promotores de crecimiento, tolerancia a estrés hídrico y salinidad, así como a enfermedades y nematodos, además de optimizar la estructura del suelo dada la producción de glomalinas.

Bajo condiciones de invernadero, se realizó un ensayo con plántulas de *M. spicata* inoculadas con hongos formadores de micorrizas del género *Rhizophagus* spp., las cuales se compararon con plantas sin inocular. A los 30 días se realizó una infección con un inóculo de *Rhizoctonia* sp., aplicado en las raíces. De acuerdo con los resultados, las plantas inoculadas con *Rhizophagus* spp. mostraron mejor respuesta en la producción de biomasa seca (figura 2.19a) y menor incidencia de la enfermedad causada por *Rhizoctonia* (figura 2.19). Ello confirma el efecto benéfico de la simbiosis.

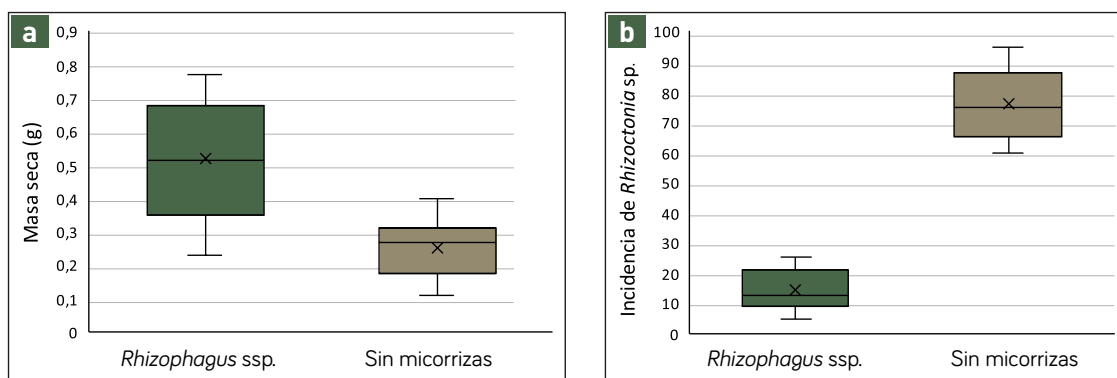


Figura 2.19. Efecto de inoculación de *M. spicata* con *Rhizophagus* spp.
a. Materia seca en plantas con y sin inoculación; **b.** Incidencia de *Rhizoctonia* spp. en plantas con y sin inoculación. Los resultados corresponden a las medias de tres repeticiones con 15 unidades experimentales. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$; Tukey HSD).

Fuente: Elaboración propia

El hongo del género *Trichoderma* es quizá uno de los que tienen mayor distribución en el mundo y con mayor presencia en los suelos. Los miembros de este género tienen diferentes estilos de vida, incluyendo saprófitos para la degradación de sustratos complejos como los componentes de celulosa, quitina y lignina, otros que colonizan las partes aéreas, e incluso algunas cepas que pueden colonizar las raíces de las plantas a través de la penetración directa de las paredes celulares, convirtiéndose en endófitos eficientes que persisten durante el ciclo de vida de la planta (Neumann & Laing, 2006).

Trichoderma tiene efectos directos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, una mejor absorción de nutrientes y eficiencia en la utilización de fertilizantes, además de inducir resistencia sistémica (RSI) a las enfermedades (Brotman et al., 2013).

En el presente proyecto, las investigaciones que se realizaron en condiciones de vivero mostraron que las plantas tratadas con *Trichoderma asperellum* presentaron tolerancia a la enfermedad, causada por el hongo *Rhizoctonia* sp., e indujo una mayor acumulación de biomasa seca, es decir, un mayor desarrollo frente a plantas que no tuvieron este endófito. Asimismo, se logró obtener un contenido de ácido rosmarínico de 28 mg/100 g de muestra, en los aceites esenciales de *M. spicata*, cuando las plantas tuvieron el endófito de *Trichoderma asperellum*, mientras que en plantas sin inocular los contenidos fueron de 10 mg/100 g de muestra.

Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV): son microorganismos benéficos que viven en el suelo y colonizan la zona adyacente a la raíz de las plantas (rizosfera), promueven su desarrollo y facilitan la absorción y utilización de nutrientes minerales. Las RPCV pueden incrementar la producción de los cultivos y disminuir la ocurrencia de enfermedades, por lo que es una alternativa en el manejo sostenible de los cultivos. Las más conocidas son *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Agrobacterium*, *Erwinia*, *Flavobacteria*, *Pasteuria*, *Enterobacter* y *Azospirillum* (Huang et al., 2017).

Las RPCV pueden sintetizar reguladores de crecimiento y sideróforos que mejoran el crecimiento de las plantas y transformar elementos nutrientes poco asimilables para beneficiar su absorción (incluyendo solubilización de fosfatos, sílice y fijación de nitrógeno).

En las investigaciones realizadas con *Mentha spicata*, se demostró que las plantas con el endófito *Bacillus subtilis* mejoraron la tolerancia a enfermedades como *Rhizoctonia* sp. y el crecimiento de las plantas en condiciones de vivero.

Microorganismos que se asocian a la filósfera

La filósfera es la parte aérea de las plantas, principalmente la superficie de las hojas, la cual es un ambiente ampliamente habitado por diversos microorganismos que conforman una microflora específica.

Las células y esporas de los microorganismos llegan a la superficie de las hojas y entran en contacto inicialmente con la cutícula, una capa hidrofóbica que protege a las plantas contra la deshidratación y otros tipos de estrés; después, los microorganismos ingresan a los tejidos internos de la hoja a través de los estomas y colonizan primero los espacios intercelulares del mesófilo esponjoso. Así, se acercan a las venas menores de las hojas, donde los azúcares que se transportan en los elementos del floema sirven de fuente de energía a los microorganismos (Vacher et al., 2016). Entre los microorganismos de la hoja más comunes se encuentran:

Bacterias: proteobacterias (*Beijerinckia*, *Azotobacter* y *Klebsiella*), cianobacterias (*Nostoc*, *Scytonema* y *Stigonema*) y bacterias (*Bacillus* sp., *Pseudomonas* spp.).

Hongos: principalmente levaduras y hongos filamentosos. De manera especial, se destacan algunos hongos entomopatógenos como *Beauveria* spp., *Metharhizium* spp., *Lecanicillium lecanii*, *Paecilomyces* spp., entre otros.

Utilidad de los endófitos

Conocer los procesos de la simbiosis planta-microbio permite tomar decisiones para el manejo integrado de los cultivos. A continuación, se describen algunas de las funciones de los endófitos en las plantas.

Promoción del crecimiento vegetal: los hongos formadores de micorrizas colonizan específicamente las raíces de las plantas; sin ellos, muchas especies vegetales no podrían sobrevivir en condiciones ambientales adversas. Desafortunadamente, debido al desconocimiento sobre su adecuado manejo y a las malas prácticas, como la aplicación de fertilizantes nitrogenados (urea) y fosforados, y al empleo de fungicidas sistémicos, se limita su acción y funcionamiento. Está demostrado que los HMA aumentan la absorción de fósforo, inducen la resistencia a patógenos del suelo y pueden reducir el estrés abiótico (salinidad, sequía) (Alam et al., 2021).

Los hongos como *Serendipita indica* y las cepas de *Trichoderma* son endófitos que colonizan las raíces de la mayoría de las plantas para mejorar el crecimiento

de brotes y raíces. De igual manera, inducen la resistencia de las plantas a enfermedades y plagas y tienen efectos en la solubilización del fósforo fijado en el suelo. A diferencia de los HMA, se pueden cultivar eficientemente en medios de cultivo artificiales (Schulz et al., 2002).

Bacterias como *Azospirillum* sp., *Bacillus subtilis* sp. y *Pseudomonas* sp. han sido suficientemente estudiadas como microorganismos que colonizan la rizosfera y alteran la arquitectura de las raíces, además de que promueven la producción de hormonas vegetales como el ácido indolacético (AIA), las citoquininas y el ácido giberélico (GA3), los cuales generan un incremento en la superficie radicular de las plantas y la formación de raíces secundarias (Wu et al., 2021).

Control de insectos plaga y enfermedades en cultivos. En diversos estudios se ha mostrado que los hongos formadores de micorrizas pueden disminuir la presencia de diversos patógenos como hongos, oomicetos, bacterias, virus y nematodos. Algo similar se ha encontrado con *Serendipita indica*, que protege la planta contra patógenos como *Verticillium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* y otras enfermedades, a través de mecanismos como la producción de metabolitos y enzimas que mejoran la respuesta de la planta.

En el caso de *Trichoderma* spp., se ha demostrado que tiene la capacidad de controlar muchos organismos patógenos como hongos (*Fusarium*, *Colletotrichum*, *Alternaria* y *Rhizoctonia*), oomicetos (*Phytophthora* y *Phytophthora*) y bacterias (*Pseudomonas*, *Xanthomonas*) (Harman & Uphoff, 2019).

Beauveria bassiana, *Lecanicillium lecanii* y *Metharhizium anisopliae* son entomopatógenos que tienen la habilidad de colonizar endófitamente las plantas y pueden tener un papel importante en la protección de las plantas contra insectos herbívoros y enfermedades (Vidal & Jaber, 2015).

La salud del suelo como un factor clave para el equilibrio del agroecosistema

Los actuales sistemas de prácticas agronómicas tienen una incidencia directa sobre aspectos como la producción, la calidad, los rendimientos y la presencia de enfermedades o insectos en los cultivos; todas estas situaciones son los efectos del manejo y pocas veces nos detenemos a pensar sobre sus causas. Se ha visto que los microorganismos juegan un rol importante en el comportamiento de las plantas a partir de la simbiosis, que ocurre desde el mismo momento en que estas inician la colonización del planeta Tierra.

Una de las principales causas, si no la más importante, es el problema del crecimiento poblacional, ya que actualmente se requiere alimentar a una población de 8.000 millones de habitantes. A ello se suma el inadecuado manejo de la producción agrícola y pecuaria, junto a los recurrentes fenómenos de eutrofización de las aguas por los excesos de nitrógeno y fósforo procedentes de los fertilizantes, la erosión, la desertificación y la salinización, entre otros.

En ese sentido, es necesario reconocer el suelo como un organismo vivo. Esto fue demostrado científicamente por Minami (2021), quien encontró semejanzas con los sistemas de vida y argumentó que el suelo ingiere, digiere, utiliza y excreta material y energía, y también que este sistema de vida reconoce el medio ambiente y abstrae, forma redes, completa, acumula y recuerda información.

Teniendo en cuenta que el suelo es una base de recursos finitos que sostiene la vida en el planeta, y que la biota (microorganismos, mesoorganismos y macroorganismos) le ayuda a realizar sus funciones, así como a soportar usos específicos como la agricultura, la referencia a la salud del suelo debe hacer parte de los diferentes análisis relativos a la materia orgánica, la diversidad y el número de organismos y constituyentes o productos microbianos, que se complementan con otros indicadores de calidad del suelo, tales como sus características físicas y químicas.

En resumen, a partir de la articulación entre los análisis de salud y calidad del suelo, se obtendrá una mejor respuesta en cuanto a la disponibilidad y el ciclo de nutrientes, así como la capacidad de prevenir los daños por plagas y enfermedades en los cultivos. La figura 2.20 muestra algunas alternativas para mejorar la salud y calidad de los suelos.



Figura 2.20. Estrategias para mejorar la salud y calidad de los suelos.

Fuente: Elaboración propia

Cómo utilizar los endófitos en la agricultura

Las plantas aromáticas, condimentarias y medicinales tienen restricciones para el empleo de agroquímicos, debido a que su presencia en los tejidos vegetales puede alterar la calidad de los metabolitos secundarios y, por lo tanto, la salud de los consumidores. Esto, sumado a las percepciones sobre sus efectos en el medio ambiente, justifica el reto de buscar alternativas de manejo.

En el presente proyecto, la utilización de los endófitos en micropropagación mejoró el crecimiento de *M. spicata*; se indujo resistencia sistémica a patógenos y aumentó los contenidos de ácidos polifenólicos totales que contribuyen a la actividad antioxidante, y del ácido rosmarínico, que es un potente agente antimicrobial.

La tabla 2.1 presenta el momento de aplicación de algunos endófitos evaluados en el cultivo de menta.

Tabla 2.1. Momentos de aplicación de endófitos en menta

Agente biológico	Momento de aplicación
Micorrizas (hongos formadores de micorrizas)	En la etapa de endurecimiento de plantas <i>in vitro</i> .
	En esquejes durante la fase de enraizamiento.
	En semillas durante la etapa de germinación.
<i>Trichoderma</i> spp.	Al menos una semana antes de realizar la siembra, para prevenir el ataque de enfermedades.
	En el momento del trasplante al suelo en forma de drench.
	Durante el enraizamiento de esquejes y la germinación de semillas.
<i>Bacillus</i> spp.	Se puede aplicar al sustrato junto con <i>Trichoderma</i> .
	Cuando aparezcan pudriciones bacteriales.
<i>Beauveria bassiana</i> , <i>Lecanicillium lecanii</i> y <i>Metharhizium anisopliae</i>	Cuando se hayan formado verdaderas hojas para prevenir el ataque de trips, mosca blanca, áfidos y ácaros, entre otros.

Fuente: Elaboración propia

Referencias

- Alam, B., Li, J., Ge, Q., Alam, M., Go, J., Mehmood, S., Yuán, Y., & Go, W. (2021). Endophytic fungi: From symbiosis to secondary metabolite communications or viceversa? *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 791033. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.791033>
- Brotman, Y., Landau, U., Cuadros-Inostroza, Á., Takayuki, T., Fernie, A. R., Chet, I., Viterbo, A., & Willmitzer, L. (2013). *Trichoderma*-plant root colonization: Escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. *PLoS Pathogens*, 9(4), Article 1003221. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003221>
- Harman, G. E., & Uphoff, N. (2019). Symbiotic root-endophytic soil microbes improve crop productivity and provide environmental benefits. *Scientifica*, Article ID 9106395. <https://doi.org/10.1155/2019/9106395>
- Huang, Y., Wu, Z., He, Y., Ye, B., & Li, C. (2017). Rhizospheric *Bacillus subtilis* exhibits biocontrol effect against *Rhizoctonia solani* in pepper (*Capsicum annuum*). *BioMed Research International*, Article ID 9397619. <https://doi.org/10.1155/2017/9397619>

- Minami, K. (2021). Soil is a living substance. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(1), 26-30. <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1827939>
- Neumann, B., & Laing, M. (2006). Trichoderma: An ally in the quest for soil system sustainability. En N. Uphoff & J. Thies (Eds.), *Biological approaches to sustainable soil systems* (pp. 491-500). Routledge.
- Rodriguez, R. J., White, J. F., Arnold, A. E., & Redman, R. S. (2009). Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist*, 182(2), 314-330. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02773.x>
- Rosikiewicz, P., Bonvin, J., & Sanders, I. (2017). Cost-efficient production of *in vitro* *Rhizoglyphus irregularis*. *Mycorrhiza*, 27, 477- 486. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-017-0763-2>
- Schulz, B., Boyle, C., Draeger, S., Römmert, A. K., & Krohn, K. (2002). Endophytic fungi: A source of novel biologically active secondary metabolites. *Mycological Research*, 106(9), 996-1004.
- Vacher, C., Hampe, A., Annabel, J., Porte, A., Sauer, U., Compant, S., & Morris, C. (2016). The phyllosphere: Microbial jungle at the plant-climate interface. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47, 1-24.
- Vidal, S., & Jaber, L. (2015). Entomopathogenic fungi as endophytes: plant-endophyte-herbivore interactions and prospects for use in biological control. *Current Science*, 109(1), 46-54.
- Wu, W., Chen, W., Liu, S., Wu, J., Zhu, Y., Qin, L., & Zhu, B. (2021). Beneficial relationships between endophytic bacteria and medicinal plants. *Frontier in Plant Science*, 12, Article 646146. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.646146>
- Zhao, L., Xu, Y., Lai, X., Shan, Ch., Deng, Z., & Ji, Y. (2015). Screening and characterization of endophytic Bacillus and Paenibacillus strains from medicinal plant *Lonicera japonica* for use as potential plant growth promoters. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(4), 977-989. <https://doi.org/10.1590/S1517-838246420140024>

Fertilización química y biológica en la producción de menta en suelos andisoles del Oriente antioqueño

Álvaro de Jesús Tamayo Vélez, Carolina Ortiz Muñoz,
Germán Franco y Luis Eladio Castro Tabares

La familia Lamiaceae está compuesta principalmente por plantas como la menta (*Mentha* spp.), la albahaca (*Ocimum* spp.), el romero (*Rosmarinus officinalis*) y el tomillo (*Thymus* spp.), entre muchas otras de conocido valor medicinal y culinario (Castro-Alayo et al., 2019; Velásquez-Vásquez et al., 2019). Entre los factores necesarios para la producción sustentable en el cultivo de la menta se encuentra el manejo adecuado de la nutrición, que busca obtener un alto rendimiento en biomasa, así como una alta producción y calidad en el contenido y la concentración de los metabolitos de interés. Normalmente, en los cultivos de producción de hojas, en cada ciclo de producción se aplica una dosis de nitrógeno de lenta liberación, pero suficiente para un buen desarrollo foliar (Brown et al., 2003). En nuestro medio, es poca o nula la información que se tiene acerca de la respuesta del cultivo a la aplicación de NPK, razón por la cual se planteó el presente estudio, en el que se evaluaron diferentes dosis de nitrógeno y potasio, y una dosis constante de fósforo (tabla 2.2), sobre la producción de follaje de menta.

Tabla 2.2. Tratamientos de fertilización evaluados en el cultivo de menta en tres localidades del Oriente antioqueño

Tratamiento	Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Potasio (kg ha ⁻¹)	Fósforo (kg ha ⁻¹)
1	60	60	100
2	60	120	100
3	60	180	100
4	120	60	100
5	120	120	100
6	120	180	100
7	180	60	100
8	180	120	100
9	180	180	100

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se contó con un testigo de agricultor (fertirriego), que fue denominado tratamiento 10 (N 1,4 g/m², P 0,6 g/m², K 2,3 g/m², CaB 0,5 g/m², aminoácidos 0,2 g/m², para un ciclo de producción con la siguiente secuencia: semana 3 aminoácidos y P, semana 4 N y K, semana 5 CaB).

Los suelos andisoles en los que se desarrolló la presente investigación se caracterizan por tener alta capacidad de cambio aniónico, alta fijación de fosfatos y una baja mineralización de la materia orgánica, por lo que en altitudes superiores a 1.700 m s. n. m. hay acumulación de esta materia orgánica; sin embargo, dada la alta precipitación, normalmente por encima de los 1.800 mm, se produce un lavado periódico de las bases intercambiables, lo que genera su desbalance. Debido a esta condición, el pH del suelo normalmente se encuentra entre fuertemente ácido y ácido, lo que sugiere aplicaciones periódicas de calcio y magnesio, y/o correctivos.

El experimento se realizó en tres localidades de clima frío moderado del Oriente antioqueño, C. I. La Selva (N 06°08'01"; W 75°2 5'05"), a 2.100 m s. n. m.; El Retiro, vereda El Chuscal (N 06°03'58,0"; W 0,75°26'58,0"), a 2.218 m s. n. m., y Rionegro, vereda Galicia (N 06°11'30,2"; W 0,75°21'39,6"), a 2.089 m s. n. m. Se evaluaron dosis crecientes de nitrógeno y potasio (60-120-180 kg ha⁻¹), más una dosis constante de fósforo (100 kg ha⁻¹). Cada parcela medía 3 m de largo x 1,2 m de ancho, en las que se cosechaban las plantas centrales, a partir de un marco de referencia. Se usó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, en un arreglo factorial, donde el factor A fue la condición ambiental del cultivo (invernadero y campo abierto) y el factor B, los niveles de N y K. Para la diferencia de medias se utilizó la prueba de Tukey; el análisis consideró un total de 10 cosechas.

Para medir los pesos frescos y la producción por área, se tomaron submuestras de hojas y tallos, a partir de un marco de referencia de 40 x 40 cm, que posteriormente fueron molidas y llevadas al laboratorio para determinar su concentración de nutrientes y el orden de remoción, por tonelada de materia seca de follaje.

Para desarrollar esta investigación, se definieron dos tipos de material vegetal de exportación, correspondientes a la parte de la planta que se cosecha para exportar y la soca, parte de la planta que corresponde a biomasa verde que no se exporta.

Fertilización química

Los datos fueron analizados bajo diferentes modelos estadísticos. Se seleccionó el de mayor ajuste, siendo el lineal mixto el más idóneo. Los factores fijos fueron la fertilización (N y K), la condición (invernadero y campo abierto) y la localidad, y el elemento aleatorio fueron las cosechas. De acuerdo con la figura 2.21, se presentaron diferencias estadísticas en la condición de invernadero versus campo abierto, obteniéndose los mayores pesos bajo condiciones protegidas. Esta situación fue constante en las tres localidades.

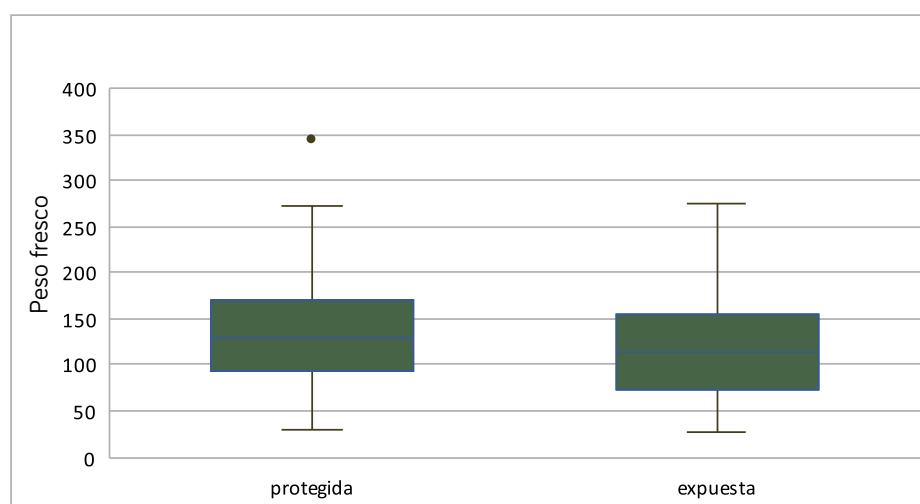


Figura 2.21. Producción de menta bajo dos sistemas de cultivo, invernadero y campo abierto, en tres localidades del Oriente antioqueño.

Fuente: Elaboración propia

Para el peso verde, se presentaron diferencias significativas entre las tres localidades ($P < 0,0003$), la condición de cultivo (invernadero o campo abierto) ($P < 0,0012$) y la interacción fertilización por localidad ($P < 0,0013$). En todas las localidades, la condición bajo invernadero fue la variable que presentó mayor producción de forraje verde y seco; los promedios fluctuaron entre 1 y 2 kg de forraje verde. Según la figura 2.22, se presentaron diferencias significativas entre los niveles de fertilización para la variable material de exportación; los niveles óptimos se presentaron con la aplicación de nitrógeno (120 kg ha^{-1}) y potasio ($60\text{-}120 \text{ kg ha}^{-1}$).

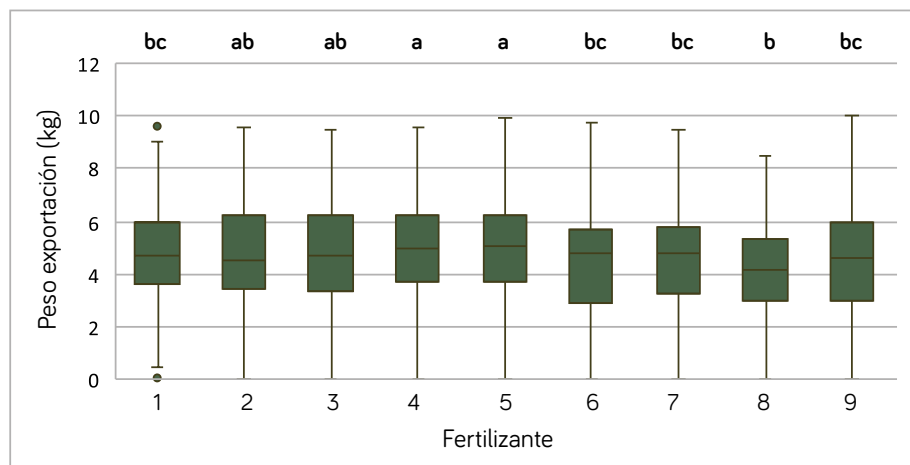


Figura 2.22. Producción de material de exportación de menta en el Oriente antioqueño. Donde el eje de la abscisa (x) corresponde a los tratamientos de fertilización evaluados y el de la asíntota (y), al peso fresco de las plantas para exportación.

Fuente: Elaboración propia

El efecto de la fertilización fue marcado para los niveles de N de 120 kg ha⁻¹ y de K entre 60 y 120 kg ha⁻¹ (figura 2.23). El N es uno de los nutrientes responsables del crecimiento vegetativo; sin embargo, no sigue una tendencia lineal infinita, sino que los cultivos llegan a un punto de saturación del elemento (Alejo-Santiago et al., 2015).

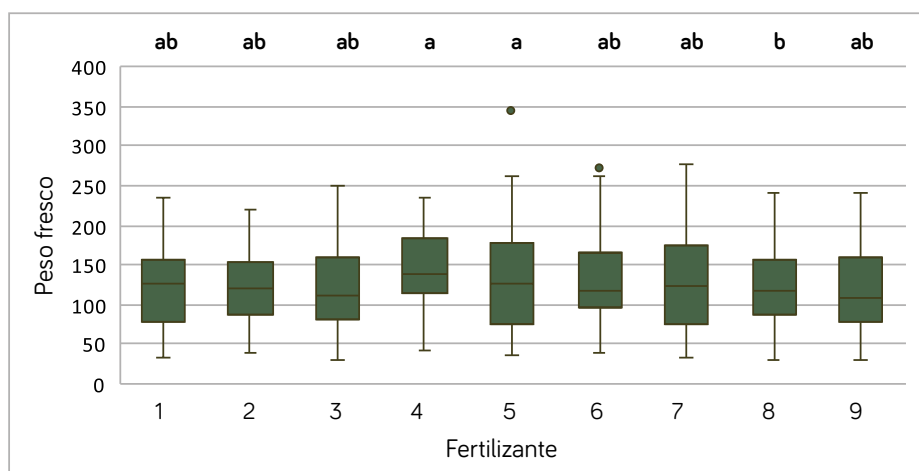


Figura 2.23. Producción de soca de menta en el Oriente antioqueño. Donde el eje de la abscisa (x) corresponde a los tratamientos de fertilización evaluados y el de la asíntota (y), al peso fresco de la soca.

Fuente: Elaboración propia

Al analizar la fertilización química (incluyendo el fertirriego) en la localidad de La Selva (figura 2.24), se observó que el tratamiento 10 (fertirriego) fue superior a la fertilización química; sin embargo, fue estadísticamente igual en los rendimientos de la menta de exportación cuando se aplicó 60 y 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno y potasio, respectivamente. La condición con y sin invernadero también afectó la producción del excedente (materia seca de los residuos). Para el caso del potasio, los resultados de este ensayo concuerdan con lo reportado por Castro et al. (2005).

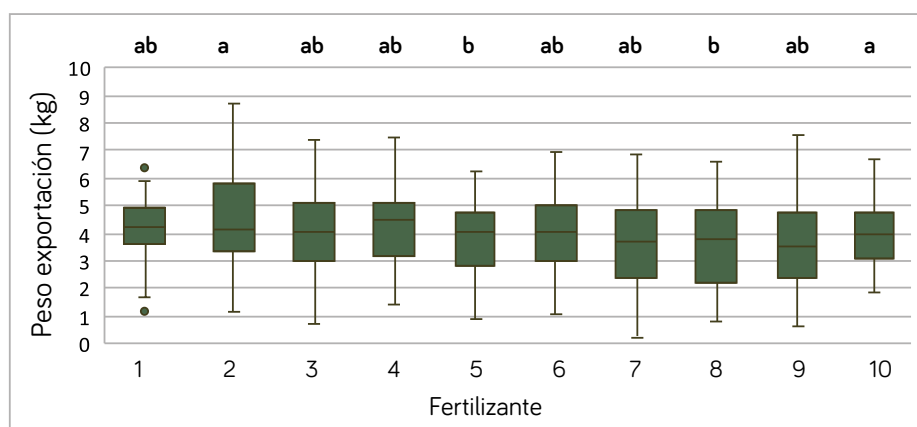


Figura 2.24. Producción de material verde de exportación de menta en el C. I. La Selva, con fertilización química y fertirriego (tratamiento 10).

Fuente: Elaboración propia

Fertilización orgánica-biofertilización

Se estudiaron dos ambientes: invernadero y campo abierto. Las parcelas estaban constituidas por 3 m de largo x 1,2 m de ancho. En todos los tratamientos se realizaron seis cosechas, en las que se cuantificó la producción de material de exportación y soca. Se utilizó el método de la cuadrícula de 40 cm de lado, que posteriormente se convirtió a 1 m² de área. En esta situación, se evaluó el material de exportación y el peso seco de la soca; posteriormente, se llevó una muestra al laboratorio para determinar la concentración de los nutrientes mayores y menores.

Para el análisis de la información, se utilizó un diseño completamente al azar en un arreglo factorial combinado sobre las cosechas, donde el factor A fueron las condiciones (invernadero y campo abierto) y el factor B, la aplicación de biofertilizantes (solubilizadores de nitrógeno y fósforo). Para la variable material

de exportación, se presentaron diferencias altamente significativas ($p > 0,01$). Los factores A y B también presentaron diferencias significativas al 5 %. Se observó una mayor producción de material de exportación en invernadero que en campo abierto; una situación similar se encontró cuando se aplicaron los biofertilizantes, los cuales aumentaron la producción de material de exportación (tabla 2.2).

Tabla 2.2. Producción de menta en el C. I. La Selva, con tratamiento de biofertilización

Tratamientos	Químico**		Químico + biofertilización	
	Invernadero	Campo abierto	Invernadero	Campo abierto
Material de exportación (g/m ²)	4,70 a*	4,15 b	4,86 a	3,98 b
Peso verde soca (g/m ²)	146,06 a	124,77 b	141,98 a	128,85 b
Peso seco soca (g/m ²)	28,40 b	38,31 a	34,72 a	31,97 b

* Los promedios seguidos de la misma letra en forma horizontal no difieren estadísticamente al nivel del 5 %, según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

** Químico 120 N, 100 P y 120 K (kg ha⁻¹).

Fuente: Elaboración propia

Según se observa en la tabla 2.3, en la localidad de El Retiro se presentó una tendencia similar a la encontrada en el C. I. La Selva, donde la condición bajo invernadero superó al campo abierto en la producción de material de exportación; en el caso de la soca (peso verde y materia seca), su producción fue mayor para el químico a campo abierto, ya que el material remanente no exportable es más lignificado en esta condición. Respecto al tratamiento químico + biofertilización, los rendimientos del material de exportación en invernadero fueron superiores a los de campo abierto y, de igual forma, aumentó la producción de la soca.

Tabla 2.3. Producción de menta en la localidad El Retiro, bajo dos condiciones (invernadero y campo abierto)

Tratamientos	Químico**		Químico + biofertilización	
	Invernadero	Campo abierto	Invernadero	Campo abierto
Material de exportación (g/m ²)	19,68 a*	3,39 b	13,28 a	9,79 b
Peso verde soca (g/m ²)	142,75 b	207,44 a	210,75 a	139,44 b
Peso seco soca (g/m ²)	44,01 b	70,79 a	70,27 a	44,53 b

* Los promedios seguidos de la misma letra en forma horizontal no difieren estadísticamente al nivel del 5 %, según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

** Químico 120 N, 100 P y 120 K (kg ha⁻¹).

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2.4 muestra que en el tratamiento de químico + biofertilización se observaron incrementos en los rendimientos de material de exportación, estadísticamente diferentes; los pesos de la soca (peso verde y peso seco/m²) fueron estadísticamente iguales.

Tabla 2.4. Producción de menta en la localidad de Rionegro, bajo cubierta

Variables	Químico + biofertilización	Químico	Probabilidad
Material de exportación (g/m ²)	3,79 a*	3,17 b	0,0027
Peso verde soca (g/m ²)	125,79 a	134,83 a	ns
Peso seco soca (g/m ²)	29,84 a	31,78 a	ns

* Diferencias significativas en forma horizontal, según análisis de varianza (Anova).

Fuente: Elaboración propia

Concentración de nutrimentos

Los promedios en los contenidos de los nutrimentos en las hojas fueron similares en todas las localidades, en condiciones de invernadero y campo abierto, con una situación similar para los diferentes tratamientos evaluados; por esta razón, se muestra una tabla promedio de los elementos concentrados en los tipos de materiales. De acuerdo con la tabla 2.5, bajo invernadero los contenidos de N, Ca y Mg fueron superiores a los contenidos de la soca; el P y el S fueron iguales en ambas situaciones. En cuanto a los elementos menores, fueron variados y altos en ambas situaciones, y como situación normal en suelos andisoles, los contenidos de hierro fueron muy altos; sin embargo, en este cultivo y en otros no se han encontrado toxicidades. Marschner (2012) menciona que la concentración óptima de N, para alcanzar un buen crecimiento y desarrollo en la mayoría de los cultivos, es de 2 a 5 %, aunque este rango puede variar dependiendo de la especie y el estado de desarrollo de los órganos. Havlin et al. (2004) indican que en las plantas el N se encuentra entre 1 y 5 % como componente de materia seca total.

Tabla 2.5. Contenidos de los nutrientes en material de exportación y soca

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	(%)						(mg/kg)				
Material de exportación	3,9	0,2	5,7	1,6	0,4	0,1	100,8	110,0	10,7	19,4	13,1
Soca	3,2	0,2	5,7	0,9	0,3	0,1	84,3	60,0	13,5	20,5	13,2

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Para obtener buenos rendimientos en la exportación de menta, es necesario aplicar en el suelo: nitrógeno, en dosis de entre 60 y 120 kg ha⁻¹; potasio, entre 120 y 180 kg ha⁻¹, y fósforo, en dosis mínimas de 100 kg ha⁻¹.

La adición de biofertilizantes como los solubilizadores de nitrógeno y fósforo mejoran la producción de menta.

El orden de remoción total de nutrientes por tonelada de materia seca de follaje en las condiciones evaluadas es: K>N>Ca>Mg>P>S>Fe>Mn>Zn>B>Cu.

Referencias

Alejo-Santiago, G., Luna-Esquivel, G., Sánchez-Hernández, R., Salcedo-Pérez, E., García-Paredes, J. D., & Jiménez Meza, V. M. (2015). Determination of the nitrogen requirement for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(3), 215-227. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.04.015>

Brown, B., Hart, J. M., Wescott, M. P., & Christensen, N. W. (2003). The critical role of nutrient management in mint production. *Better Crops*, 7(4), 9-11. <https://www.haifa-group.com/sites/default/files/article/The%20Critical%20Role%20of.pdf>

Castro-Alayo, E., Chávez-Quintana, S., Auquiñivín-Silva, E., Fernández-Jeri, A., Cruz, O., Rodríguez-Hamamura, N., Olivas-Orozco, G., & Sepúlveda-Ahumada D. (2019). Aceites esenciales de plantas nativas del Perú: efecto del lugar de cultivo en las características fisicoquímicas y actividad antioxidante. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 479-487. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172019000400004

Castro, M., Ricaurte, C. C., & Quijano, P. A. (2005). Determinación de metales en las estructuras del diente de león (*Taraxacum officinalis* Weber), hierbabuena (*Mentha piperita*) y manzanilla (*Matricaria chamomilla*). *Bistua*, 3(1), 38-44. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90303105>

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Beaton, J. D., & Nelson, W. L. (2004). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (7th ed.). Prentice Hall.

Marschner, P. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press.

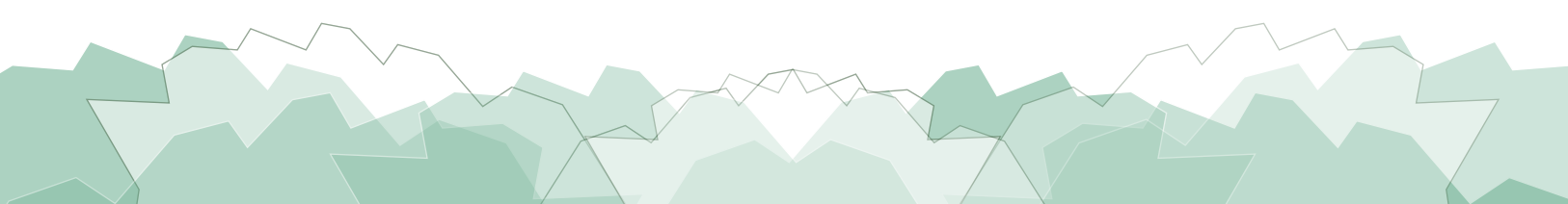
Velásquez-Vásquez, G., Pérez-Armendáriz, B., Ortega-Martínez, L., & Nelly-Juárez, Z. (2019). Conocimiento etnobotánico sobre el uso de plantas medicinales en la Sierra Negra de Puebla, México. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 18(3), 265-27. https://www.blacpma.usach.cl/sites/blacpma/files/articulo_3_-_1580_-_265_-_276.pdf



68

Capítulo III

Poscosecha y agroindustria



Subproductos agrícolas y sus posibilidades de aprovechamiento en cultivos de menta y plantas comercializadoras

Luz Mary Quintero Vásquez, María Orflia Vargas Arcila, Germán Franco, Juan Camilo Henao Rojas, Carolina Zuluaga Mejía e Inés Amelia Madroñero Solarte

El cambio en los hábitos alimentarios y el aumento de la población, al igual que el incremento en la producción y el procesamiento de productos hortícolas ha aumentado los residuos derivados de las empresas que industrializan frutales, vegetales y plantas aromáticas y medicinales. Se estima que alrededor de un tercio de la producción mundial anual de los alimentos para el consumo humano se pierden o desperdician, lo que equivale a unos 1.300 millones de toneladas (FAO, 2012, García, 2022). Esto ha ocasionado pérdidas económicas, principalmente en productores de pequeña escala y problemas ambientales generalizados.

Con el objetivo de promover la investigación y la transformación de materias primas de origen vegetal en productos finales con valor añadido, el documento Conpes 3582 de 2009 prioriza el sector de los alimentos, cosméticos y artículos de aseo, dentro del cual se encuentran las plantas aromáticas. Shahid et al. (2013) reportan que la creciente demanda de plantas aromáticas y medicinales en el mundo ha generado la necesidad de suministrar materias primas a partir de especies vegetales, cuyos compuestos bioactivos estén disponibles en la concentración deseada, según el proceso de transformación al cual serán sometidos.

La producción comercializable de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines (PAMCyA) genera millones de toneladas de residuos, lo cual plantea la importancia de crear mecanismos apropiados para su tratamiento e implementar tecnologías sostenibles para reducir amenazas ambientales (Zhou et al., 2018); no obstante, la investigación al respecto es escasa (Jeelani et al., 2018; García, 2022). Una estrategia bastante empleada es el compostaje (Zhou et al., 2018), aunque con algunos desafíos técnicos (Wang et al., 2016; Zhou et al., 2014, 2018). Por esta razón, es indispensable explorar alternativas para la utilización de los residuos generados en cultivos de PAMCyA, ya que por cuestiones estéticas, mas no de calidad interna, gran cantidad de biomasa queda fuera de los circuitos comerciales.

Atendiendo a la tendencia mundial denominada economía circular como una posibilidad de desarrollo alternativo para generar nuevas oportunidades de negocio y trabajo, así como a la disminución del desperdicio de alimentos, se puede potencializar el uso de los residuos agrícolas y agroindustriales, que son una fuente importante de compuestos bioactivos, con efectos benéficos para la salud y la prevención de enfermedades. Los subproductos y residuos pueden provenir de las partes no comestibles de las plantas o de aquellas que no se comercializan por factores estéticos. Entre estos se pueden encontrar los generados de forma simultánea a partir de la materia prima, los que resultan de alguna fase del proceso de producción y aquellos que son fuente potencial de ingredientes, nutrientes y micronutrientes (fibra, prebióticos, antioxidantes). Existe, entonces, la posibilidad de usar vegetales enteros o algunas de sus partes, con los cuales se pueden producir platos preparados, concentrar los metabolitos de interés para obtener saborizantes naturales con un aporte nutritivo extra y elaborar otros productos intermedios con potencial para la agroindustria, la cosmética o la industria farmacéutica (Costa et al., 2021; García, 2022).

En el caso de la menta (*Mentha spicata*), debido a los requerimientos de calidad exigidos para exportación de material en fresco, se requiere realizar una clasificación estricta de la materia prima, por lo que no toda la producción se puede comercializar. Por ello, se llega hasta un 40 % de subproductos no comercializables (Bonilla & Guerrero, 2010; Quintero et al., 2015). En la cosecha del cultivo se descartan los tallos y hojas con daños físicos, bióticos y mecánicos, cuyo producto no se puede exportar (Bonilla et al., 2008; Bonilla & Guerrero, 2010). En la planta de poscosecha, al realizar las operaciones de monitoreo sanitario y poscosecha (selección, clasificación, limpieza, maquillaje, pesaje, empaque para exportación y almacenamiento en frío), a fin de cumplir con la calidad del producto según los requerimientos del mercado de exportación, se produce un nuevo residuo a partir del producto que no cumple con la calidad deseada, lo cual aumenta las pérdidas (Bonilla & Guerrero, 2010; Quintero et al., 2015).

Condiciones generales de los predios

La información meteorológica recopilada en las localidades donde se realizaron los experimentos permitió conocer algunas tendencias de los componentes del clima: se observó que la temperatura varía muy poco durante el año, con una desviación estándar menor a 1; la humedad relativa también es estable, con una desviación estándar entre 3 y 6; se identificó un coeficiente de correlación de 0,82 entre la cantidad de luz y la producción de menta en el sistema de producción protegido, que indica una influencia positiva de la cubierta sobre la producción, mientras que para campo abierto este valor fue de 0,47.

Según la metodología indicada por Piñeros (2010), con algunas modificaciones, se determinaron las condiciones generales de las fincas productoras y de las plantas comercializadoras, se cuantificó la producción de subproductos por diferentes causas y se dieron recomendaciones para la reducción de pérdidas en cosecha y poscosecha de la menta.

Las condiciones generales de los predios permitieron conocer que los cultivos se encuentran establecidos en veredas y municipios cercanos al Aeropuerto Internacional José María Córdoba de Rionegro, con vías pavimentadas. Antioquia exporta el 98 % de su producción a Estados Unidos y Canadá, y el resto se comercializa en el mercado nacional en las plazas mayoristas, laboratorios y tiendas naturistas (Quintero et al., 2014). La menta se cultiva a campo abierto y bajo cubierta entre los 1.536 a 2.699 m s. n. m. Los productores manifiestan que el cultivo bajo cubierta presenta un aspecto más vigoroso que el de campo abierto, pero este último tiene aparentemente mayor rendimiento y es el más exportado porque tiene mayor vida útil y calidad organoléptica.

Los propietarios del cultivo tienen entre 38 y 65 años. Para las labores de campo se contrata personal (hombres y mujeres) con edades que oscilan entre los 32 y los 58 años. El nivel académico de los productores corresponde a la educación media, tecnologías y profesionales. Aunque el área sembrada es pequeña (0,09 a 9,2 ha) para este tipo de cultivo, sus características permiten clasificar a los productores como medianos y grandes, debido al buen ejercicio económico de la actividad. De otra parte, los terrenos en los cuales establecen el cultivo son propios y alquilados.

La semilla de menta que se siembra en Antioquia fue introducida desde Cundinamarca hace aproximadamente 15 años por recomendación de otros productores, comercializadoras y clientes. En la actualidad, el material de siembra se obtiene en las mismas fincas y las plantas se propagan mediante esquejes y rizomas.

Por el hábito de crecimiento, que cubre toda el área donde se planta, no se observa una distancia de siembra modal en el cultivo; se observan diferentes espaciamentos entre plantas y surcos (10 y 20 cm entre plantas, 30 y 40 cm entre surcos), con densidades de siembra desde 200 hasta 1.800 plantas por cama de 36 m², que obedecen a las sugerencias registradas por Castro et al. (2013). Los productores consideran que el mejor material de siembra es el obtenido de cultivos a campo abierto, que se puede plantar bajo cubierta y a libre exposición, lo cual se hace de manera escalonada para lograr la producción y comercialización durante todo el año. La tabla 3.1 muestra características modales de los productores de menta del Oriente antioqueño.

Tabla 3.1. Algunas características de los cultivadores de menta del Oriente antioqueño

Variable	Productor		
	1	2	3
Edad	38	63	37
Estudios	Profesional	Profesional	Profesional
Tenencia de predio	Alquilado	Propio	Alquilado
Variedad según productor	<i>Mentha spicata</i>	<i>Mentha spicata</i>	<i>Mentha spicata</i>
Procedencia de la semilla por primera vez	Productor de Cundinamarca		Comercializadora
Quién le recomendó material	Exportador	Productor	Cliente y experiencia propia
Cómo desinfecta la planta antes de sembrar	Yodo	Yodo	Yodo, cuando es planta con raíz no desinfectada
Distancia de siembra plantas-surcos (cm)	10 x 30	20 x 40	Un esqueje seguido de otro x 40
Cantidad de material que siembra	Para 1 m ² , 2 kg de esquejes o rizomas	Para cama de 30 m ² , 10 kg de semilla vegetativa	Para cama de 30 m ² , 40 kg de rizomas
Altura de la cama (cm)	20-30	20	15
Duración del cultivo (años)	3 o más	3 o más	3
Plagas que identifica	Babosas, chinches	Larvas, chiches, babosas	Babosas, nematodos, mosca blanca, larvas
Enfermedades que identifica	Roya	Roya	Roya, tallos deformes (rajados)
Daño físico de la hoja	Perforación por granizo	Perforaciones, amarillamiento por falta de luz	Perforaciones

Fuente: Elaboración propia con base en los datos suministrados por los productores

Las cosechas se realizan según las condiciones de mercado y la demanda de los importadores; el tamaño del tallo que se cosecha varía entre 15 y 30 cm; si se cosechan tallos con mayor longitud, la producción de subproducto es mayor, debido a que se realiza un primer maquiillaje en campo y luego otro más riguroso en la planta comercializadora. Respecto al lugar de almacenamiento, después de cosechar la menta, se lleva al centro de acopio de la finca. La exportación se efectúa por vía aérea y se estima que entre la cosecha y la

llegada del producto al país de destino pueden transcurrir unas 17 horas, sin contabilizar retrasos en los vuelos; además, durante este tiempo se pueden producir dificultades en la cadena de frío, lo que reduce la vida útil del vegetal. La tabla 3.2 muestra las principales características de las labores realizadas en poscosecha de la menta en el Oriente antioqueño.

Tabla 3.2. Algunas características de la poscosecha realizada en fincas de productores de menta del Oriente antioqueño

Variable		Productor		
		1	2	3
Cosecha (semanas)	1 ^{ra} a campo abierto	8	10	7
	Siguientes a campo abierto	6,1	10	6,5
	1 ^{ra} bajo cubierta	6	Entre 8 y 10	7
	Siguientes bajo cubierta	6	10	6,5
Tamaño del tallo cosechado (cm)		20-25	25-30	15-20
Frecuencia de cosecha		Diario	2 veces x semana	2 veces x semana
Recipiente de cosecha		Caja de poliestireno expandido	Canastilla plástica recubierta con plástico transparente	
Criterio de cosecha		- Tiempo seco - Altura de la planta de 35-40 cm - Hoja ancha y de color oscuro - Tallo grueso	- Altura de la planta de 50-60 cm - Hoja ancha y de color oscuro - Tallo grueso	- Altura de la planta de 25-30 cm
De dónde obtiene subproductos		Lo que queda en el cultivo luego de la cosecha, hojas contaminadas por virus y plantas que no se exportan por poca demanda o por daño de plagas o enfermedades.		
Uso del subproducto		- Compostaje - Extracto y zumo - Aromáticas - Semilla	- Compostaje - Secado de menta para tisana - Menta fresca para extracción de aceite esencial	- Compostaje
Apariencia de la cosecha		Buen estado	Regular estado	Excelente estado
Almacenamiento temporal en acopio		5 °C refrigerado	10 °C ambiente	5 °C refrigerado

Continúa en la página 74...

... continuación tabla 3.2.

Variable		Productor		
		1	2	3
Duración del proceso (horas)	Cosecha	1	1	1
	Acopio en finca	3	2	0 (del campo a la planta comercializadora)
	Almacenamiento en bodega de maquillaje	8	8	8
	Transporte país de origen-país de destino	8	8	8

Fuente: Elaboración propia con base en datos suministrados por los productores

Los datos obtenidos en las empresas comercializadoras de menta indican que en un día pueden ingresar desde 72 hasta 344 kg, con un promedio entre 19,01 y 40 % de subproducto generado. Los valores relacionados en la tabla 3.3 muestran la cantidad de biomasa rechazada, que podría utilizarse como materia prima para agregación de valor mediante procesos agroindustriales, con lo cual se reducirían considerablemente estos valores.

Tabla 3.3. Cuantificación del subproducto en planta comercializadora

Comercializadora	Muestreo	Cantidad de menta que ingresa (kg)	Cantidad de menta para exportación (kg)	Subproducto (kg)	Subproducto (%)
1	1	104,00	82,00	22,00	21,15
1	2	142,00	115,00	27,00	19,01
1	3	87,40	62,00	25,40	29,06
1	4	72,00	54,00	18,00	25,00
1	5	75,00	56,30	18,70	24,93
1	6	166,00	114,00	52,00	31,33
1	7	162,00	124,00	38,00	23,46
2	1	243,00	195,00	48,00	19,75
2	2	179,00	141,00	38,00	21,23
2	3	344,00	228,00	116,00	33,72
2	4	95,50	60,00	35,50	37,17

Continúa en la página 75...

... continuación tabla 3.3.

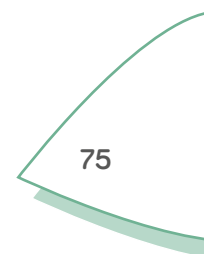
Comercializadora	Muestreo	Cantidad de menta que ingresa (kg)	Cantidad de menta para exportación (kg)	Subproducto (kg)	Subproducto (%)
2	5	100,00	60,00	40,00	40,00
2	6	288,00	212,00	76,00	26,39
2	7	148,00	111,00	37,00	25,00
2	8	300,00	225,00	75,00	25,00

Fuente: Elaboración propia

La información sobre el subproducto obtenido en finca se relaciona en la tabla 3.4, que no incluye las cantidades producidas debido a problemas fitosanitarios o cuando se cosecha para semilla, lo cual corresponden a máximos globales de 74,6 % de subproducto obtenido.

Tabla 3.4. Producción de menta y cuantificación del subproducto en finca

Productor	Cosecha total (t/ha)		Subproducto (t/ha)		Subproducto en el área cosechada (%)	
	Cubierta	Campo abierto	Cubierta	Campo abierto	Cubierta	Campo abierto
1	39,3	25,2	29,3	16,6	74,6	65,9
	50,2	22,6	31,8	9,0	63,3	39,8
	18,9	32,6	18,9	20	100,0*	61,3
2	30,4	17,9	9,4	5,1	31,0	28,4
	20,2	45,5	4,9	31,8	24,5	70,0
	16,2	15,5	16,2	15,5	100,0**	100,0**
	35,7	26,4	20,6	15,7	57,8	59,0
	26,7	32,4	16,4	22,5	61,0	69,0
	11,9	11,6	3,8	3,3	32,0	28,0
	19,3	13,2	3,8	7,0	20,0	53,0
	25,7	16,1	6,4	8,0	25,0	50,0
	13,3	0	5,0	0	38,0	0
3	12,7	2,6	5,0	0	39,0	0
	10,6	2,1	2,9	0	27,0	0
	19,7	12,6	4,3	6,5	22,0	51,0



Continúa en la página 76...

... continuación tabla 3.4.

Productor	Cosecha total (t/ha)		Subproducto (t/ha)		Subproducto en el área cosechada (%)	
	Cubierta	Campo abierto	Cubierta	Campo abierto	Cubierta	Campo abierto
4	23,5	27,9	14,0	10,2	59,0	37,0
	30,7	31,2	13,3	12,5	43,0	40,0
	19,4	27,2	12,7	17,5	65,9	64,0
	33,3	27,9	16,3	15,1	49,0	54,0
	9,6	23,9	4,8	6,4	50,0	27,0
	11,5	10,9	4,0	3,6	34,0	33,0
	26,5	26,2	9,4	6,6	36,0	25,0

* Problemas fitosanitarios

** Se cosechó para semilla

Fuente: Elaboración propia a partir de cosechas en finca de productores

Evaluación de las pérdidas por causas primarias y secundarias y obtención de subproductos

Para efectos de este trabajo, al material de menta que no se comercializa después del proceso de la cosecha se le denominará subproducto, que es un “bien secundario obtenido de un proceso industrial, cuando dicho procedimiento originalmente se llevó a cabo para fabricar otro producto” (Westreicher, 2022). Para visualizar los puntos del sistema de producción en el cual se producen volúmenes de material no exportable y pérdidas, se deben considerar los siguientes aspectos: la cosecha que se realiza cada 50-60 días, las condiciones ambientales, el sistema de cultivo (campo abierto o cubierta) y la altura de la planta.

Una vez se corta el follaje para exportación, se realiza un maquillaje en campo que consiste en eliminar partes de la planta que no cumplen con la calidad requerida; esto se considera una fuente de subproducto, aunque en baja cantidad. Las plantas que quedan en campo después del corte se consideran el primer subproducto generado; esta es la principal fuente y se cataloga como pérdida por causa primaria para el productor, debido a que, en su mayoría, no se comercializa. La tabla 3.4 muestra el total cosechado y la cantidad de material que el productor deja en campo, el cual se estima como una causa primaria.

Otra fuente de subproductos son las plantas comercializadoras donde se realizan procesos de acondicionamiento (maquillaje) del material para exportación, en las que se descarta el material que no cumple los requisitos para el

efecto; esto es considerado como pérdida por causas secundarias. El material descartado tiene mejor calidad que el subproducto obtenido en campo, cuya cuantificación se observa en la tabla 3.3.

Los valores presentados en las tablas 3.3. y 3.4 permiten observar la cantidad de biomasa considerada como subproducto y que tiene potencial de utilización como materia prima para procesos de agregación de valor, mediante los cuales se podría reducir su cantidad y ofrecer una nueva alternativa de ingreso al productor.

Dado lo anterior, se propone tipificar los subproductos según su origen, de la siguiente forma:

Subproducto de buena calidad: material obtenido en las comercializadoras, con baja carga de partículas de tierra, generalmente libre de plagas y enfermedades, en estado verde y fresco, y con tallos enteros. Su manipulación y adecuación antes de ser procesado agroindustrialmente es fácil y es adecuado para obtener bioproductos.

Subproducto de calidad intermedia: material obtenido de cultivos de exportación después de la cosecha, que corresponde al tercio medio de la planta, de apariencia regular y presenta hojas verdes, frescas, de diferente tamaño y algunas evidencian daños físicos. Requiere de desinfección porque presenta contaminación microbiológica y partículas de tierra, y tiene una baja incidencia de plagas y enfermedades. Su manipulación y adecuación antes de ser procesado agroindustrialmente requiere mayor acondicionamiento que el de buena calidad, y es adecuado para obtener bioproductos.

Subproducto de calidad baja: material obtenido en cultivos de exportación después de la cosecha y de cultivos para mercado nacional. Está constituido por el tercio inferior de la planta y presenta hojas cloróticas, debido a la falta de luz en su base. No es adecuado para proceso agroindustrial y se puede emplear como material para compostaje. Los diferentes tipos de subproductos requieren lavado y desinfección antes de ser procesados.

Recomendaciones para la reducción de pérdidas en cosecha y poscosecha de la menta

Según la tipificación de los subproductos, la primera acción para disminuir la cantidad de biomasa no aprovechable se basa en el manejo integrado del cultivo, enmarcado bajo el esquema de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), realizado por la mayoría de los productores que tienen sus predios registrados.

Como complemento, se recomienda incorporar los resultados de investigación expuestos en este documento a los programas de BPA implementados en los predios, que pueden resumirse así: tener clara la identidad genética del material, importante para poder explorar nuevos mercados internacionales; en lo posible, realizar la cosecha en el momento óptimo de recolección; fertilizar según las necesidades del cultivo en cuanto a la absorción diferenciada de nutrientes, y realizar el control de lepidópteros y otras plagas asociadas y enfermedades.

Es indispensable usar subproducto de buena calidad y de calidad intermedia para la producción de bioingredientes como extracto y material seco y molido, de tal forma que se pueda aprovechar la riqueza metabólica y las propiedades antioxidantes de la menta cultivada en el Oriente antioqueño. Ello permitirá diversificar el mercadeo de la planta y que los productores obtengan ingresos adicionales. En este sentido, la exploración de mercado realizada y la prueba sensorial de los bioproductos como la tisana, el extracto y la tisana de panelita con extracto de menta permitieron identificar que existen posibilidades de mercado y que tienen buen nivel de aceptación por los consumidores, quienes estarían dispuestos a pagar un precio diferencial según el producto.

A lo anterior se puede agregar la posibilidad de mercado interno de material de menta seco con empresas de alimentos o productos naturales en Colombia, de tal forma que sea aprovechable su capacidad antioxidante, pues este tipo de material presenta actividad de DPPH, como eliminador de radicales libres de 56 % de inhibición, respecto a otros reportes en la misma especie, con 54,68 % de inhibición. Algunos autores asocian dicha capacidad, principalmente, a la presencia de monoterpenos y monoterpenoides en extractos de menta verde (Alsaraf et al., 2021), con mayor capacidad reductora, medida por FRAP, comparada con lo informado por Yousuf et al. (2021).

Entre los metabolitos que contiene la menta, se conoce que los ácidos clorogénicos tienen un efecto antimicrobiano en bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, y se evidencia actividad bactericida contra *Pseudomonas fluorescens* y *Staphylococcus aureus* (Farjana et al., 2014; Suárez-Quiroz et al., 2013). Dentro de estos metabolitos, la esculetina de la menta sembrada en Colombia presentó alto porcentaje de inhibición antimicrobiana sobre *S. aureus* resistente a metilicina, condición que permite proponer que sea utilizada en productos dirigidos a efectos antioxidantes, protección UV y actividades antimicrobianas. Lo anterior consolida las características del potencial biofuncional de la planta para la producción y comercialización del extracto.

Conclusiones

Es factible la utilización de los subproductos de calidad buena e intermedia generados en las fincas exportadoras de menta y en las comercializadoras, con lo cual se puede disminuir la cantidad producida en al menos un 50 %. Ello representa para los productores una alternativa adicional de ingresos, al agregar valor a una producción de biomasa que generalmente se descarta. Los bioingredientes ofertados tienen buen potencial de aceptación en el mercado, según lo observado en una exploración inicial de mercado con potencial biofuncional.

Las utilidades de estos resultados permitirán fortalecer la toma de decisiones para la formulación de productos con características de valor, como agentes protectores del estrés oxidativo con características de calidad diferencial para los productos transformados colombianos.

Referencias

- Alsaraf, S., Hadi, Z., Akhtar, M. J., & Khan, S. A. (2021). Chemical profiling, cytotoxic and antioxidant activity of volatile oil isolated from the mint (*Mentha spicata* L.) grown in Oman. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 34, Article 102034. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102034>
- Bonilla, C. R., & Guerrero, M. R. (2010). *Menta (Mentha spp.). Producción y manejo poscosecha*. Cámara de Comercio de Bogotá, Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12923>
- Bonilla, R., Samacá, H., Martínez, H., & Perdomo, J. (2008). *Caracterización y evaluación de la cadena de plantas aromáticas, medicinales, aceites esenciales y afines en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Castro, D., Díaz, J., Serna, R., Martínez, M. D., Urrea, P. A., Muñoz, K. & Osorio, E. (2013). *Cultivo y producción de plantas aromáticas y medicinales* (2ª ed). Universidad Católica de Oriente.
- Costa, J., Bobo, G., Abadías, M., & Aguiló-Aguayo, I. (2021). *El potencial de los coproductos vegetales en el desarrollo de productos innovadores*. Biblioteca Horticultura. <https://www.bibliotecahorticultura.com/publicaciones/poscosecha/el-potencial-de-los-coproductos-vegetales-en-el-desarrollo-de-productos-innovadores/>
- Farjana, A., Zerín, N., & Kabir, M. S. (2014). Antimicrobial activity of medicinal plant leaf extracts against pathogenic bacteria. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 4, S920-S923. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(14\)60758-1](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(14)60758-1)
- García P. (2022). Composición y sustancias bioactivas en subproductos de la industrialización de frutas. *Revista del Foro de la Alimentación, la Nutrición y la Salud (RFANUS)*, 3(3), 22-44. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68539/NR42849.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Jeelani, S. M., Rather, G. A., Sharma, A., & Lattoo, S. K. (2018). In perspective: Potential medicinal plant resources of Kashmir Himalayas, their domestication and cultivation for commercial exploitation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 8, 10-25.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo—Alcance, causas y prevención*. <https://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf>
- Piñeros, Y. (Ed.). (2010). *Manual poscosecha de brócoli, espinaca y lechuga en la sabana de Bogotá: diagnóstico, manejo y tecnologías poscosecha*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Quintero, L. M. et al. (2014). *Caracterización y diagnóstico de las plantas aromáticas medicinales y condimentarias (PAMC) en Antioquia y línea base sobre las prácticas de calidad, inocuidad y fitosanitarias implementadas en los sistemas de producción* [Informe interno final de proyecto]. AGROSAVIA.
- Quintero, L. M., Vásquez, L. A., & Aguilar, P. A. (2015). *Componentes socioeconómico, tecnológico y físico de los sistemas de producción de menta (Mentha spp.) y cardamomo (Elettaria cardamomum (L.) maton) en el departamento de Antioquia, Rionegro* [Informe interno final de proyecto]. AGROSAVIA.
- Shahid, M., Shahzad, A., Malik, A., & Sahai, A. (2013). *Recent trends in biotechnology and therapeutic applications of medicinal plants*. Springer.
- Suárez-Quiroz, M. L., Taillefer, W., López, E. M., González-Ríos, O., Villeneuve, P., & Figueroa-Espinoza, M. C. (2013). Antibacterial activity and antifungal and anti-mycotoxigenic activities against a *Spergillus flavus* and *A. ochraceus* of green coffee chlorogenic acids and dodecyl chlorogenates. *Journal of Food Safety*, 33(3), 360-368.
- Wang, X., Selvam, A., & Wong, J. W. (2016). Influence of lime on struvite formation and nitrogen conservation during food waste composting. *Bioresource Technology*, 217, 227-232.
- Westreicher, G. (2022). *Subproducto*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/subproducto.html>
- Yousuf, T., Akter, R., Ahmed, J., Mazumdar, S., Talukder, D., Nandi, N. C., & Nurulamin, M. (2021). Evaluation of acute oral toxicity, cytotoxicity, antidepressant and antioxidant activities of Japanese mint (*Mentha arvensis* L.) oil. *Phytomedicine Plus*, 1(4), Article 100140. <https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2021.100140>
- Zhou, Y., Selvam, A., & Wong, J. W. C. (2014). Evaluation of humic substances during composting of food waste, sawdust and chinese medicinal herbal residues. *Bioresource Technology*, 168, 229-234.
- Zhou, Y., Selvam, A., Wong, J. W. C. (2018). Chinese medicinal herbal residues as a bulking agent for food waste composting. *Bioresource Technology*, 249, 182-188.

Caracterización química de los residuos agroindustriales de la menta para el desarrollo de ingredientes naturales

Karina Andrea Sierra Henao y Édison Javier Osorio Durango

La agroindustria es una actividad económica que combina el proceso productivo agrícola con el proceso de transformación industrial para la elaboración de ingredientes y productos destinados al mercado. Este proceso trae consigo la formación de residuos, los cuales se consideran un problema ambiental. A pesar de existir diferentes estrategias para la generación de valor agregado de las materias primas de interés en la industria alimentaria y farmacéutica, son pocas las alternativas para la transformación y el aprovechamiento del material agroindustrial excedente. En este caso, el proceso de exportación de la menta debe cumplir ciertos requerimientos de calidad, por lo que es necesario realizar una selección rigurosa de la materia prima, que se traduce en una producción de aproximadamente el 40 % de excedentes no comercializables. Esta investigación buscó caracterizar en términos químicos los residuos generados en el proceso agroindustrial y de exportación de la menta, a fin de proponer alternativas para la elaboración de un ingrediente natural valorizado con amplio interés industrial. Este desarrollo se realizó por medio de extracción asistida por ultrasonido de alta intensidad, en el que se estandarizaron las mejores condiciones para la extracción de los compuestos de interés. Se encontró que, a través de un mismo sistema (etanol:agua 80:20), se obtienen los compuestos mayoritarios de carácter fenólico y terpénico de la menta: ácido rosmarínico y carvona, los cuales fueron analizados por HPLC/DAD y GC/MS, respectivamente. Estos compuestos fueron usados como marcadores para la cuantificación y elección del mejor material vegetal para el desarrollo de un ingrediente natural. Durante el proceso, se evidenció que las muestras cultivadas en campo abierto son promisorias, toda vez que presentan mayor cantidad de compuestos de interés y no presentan diferencias significativas entre las muestras destinadas a su exportación y sus residuos. Por tal motivo, los residuos de empresas comercializadoras son elegidos para el desarrollo de un ingrediente natural. Así, se procedió a la elaboración de extractos y su evaluación química cuantitativa y organoléptica cualitativa, a través de procesos sostenibles que buscan disminuir tiempos de procesamiento y usando solventes ecológicos que presentaran un alto rendimiento en la extracción de los compuestos objetivos. Los resultados permitieron conocer las mejores condiciones de extracción y evaluación de la especie *M. spicata* y proponer el residuo de comercializadora como el mejor material para el desarrollo de un ingrediente natural con aplicación a la industria alimentaria.

El interés principal de esta investigación es el aprovechamiento de los residuos generados en la cadena de comercialización de la menta en el Oriente antioqueño, de tal forma que se favorezca el desarrollo de productos innovadores que puedan incursionar en mercados nacionales e internacionales. En este sentido, se quiso desarrollar ingredientes naturales, como extractos hidroalcohólicos, tisanas o sólidos microencapsulados, enfocados en la industria alimentaria, en procura de contribuir a la disminución de la pérdida de material, con la generación de valor agregado de un material que es destinado a descarte dentro del proceso de producción, con la promoción de alternativas de ingresos para los productores y el establecimiento de una visión más amplia, requerida en el desarrollo de productos de exportación.

Para establecer la calidad de los residuos de menta con respecto al material de exportación, se realizó la caracterización química en términos del perfil de compuestos terpénicos y fenólicos, además de la determinación del contenido de polifenoles totales (CPT). El estudio de los metabolitos de características terpénicas (monoterpenos y sesquiterpenos) fue realizado utilizando cromatografía gaseosa acoplada a un detector de masas (GC/MS). Los compuestos fenólicos fueron analizados a través de cromatografía líquida acoplada a un detector de arreglo de diodos (HPLC/DAD), con base en los compuestos reportados previamente para la especie. Los compuestos que no se identificaron a través de esta técnica se analizaron por cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas. Los resultados obtenidos mediante la caracterización química permitieron discriminar las muestras por fincas, determinar la calidad de los residuos con respecto al material vegetal de exportación y seleccionar los nichos productivos de residuos químicamente relevantes. De esta forma, los residuos con mayor cantidad de compuestos de interés fueron elegidos para el desarrollo de un ingrediente natural: un extracto hidroalcohólico con fines en la industria alimentaria.

Evaluación cualitativa y cuantitativa de los subproductos de menta

La menta es una de las principales plantas medicinales y aromáticas cultivadas y comercializadas en la región del Oriente antioqueño, que cuenta con los pisos térmicos requeridos para la producción de la especie y cumple con otros parámetros óptimos para los cultivos, como altitudes inferiores a los 2.500 m s. n. m., alta luminosidad, clima templado y suelos ligeros, areno-arcillosos, fértiles, profundos y húmedos (Bonilla & Guerrero, 2010). En zonas frías se puede observar también el cultivo bajo cubiertas plásticas. Lastimosamente, la agroindustria de la menta presenta una alta generación de residuos en sus fases de producción y comercialización, los cuales constituyen el material objetivo de la presente investigación. La selección de los productores de esta planta aromática se

basó en la capacidad de producción, el conocimiento de las características de las semillas y las condiciones de siembra y suelo en las colectas realizadas. Los productores asociados al estudio están ubicados en la vereda Galicia del municipio de Rionegro, la vereda El Higuérón del municipio de El Retiro y en el C. I. La Selva de AGROSAVIA, en el municipio de Rionegro.

Selección del material vegetal

Según el listado de plantas medicinales aprobadas con fines terapéuticos en Colombia (Invima, 2018), las partes aéreas de la menta corresponden a la parte de la planta que está indicada para su uso farmacológico. Esto coincide con reportes de la especie donde solo se aprovechan las partes aéreas (Abootalebian et al., 2016; Zhao et al., 2013). Así, la evaluación en este trabajo se realizó en tres muestras diferentes de menta: 1) hojas, 2) tallos y 3) hojas más tallos. Las muestras fueron recolectadas en el mismo lugar de cosecha realizando un proceso de separación, limpieza y desinfección. Las tres muestras se analizaron y se compararon por su contenido de polifenoles totales (CPT) y de ácido rosmarínico (AR); este último fue determinado por HPLC/DAD. La comparación se realizó con el fin de seleccionar el material que sería utilizado en los análisis posteriores. Las hojas presentan un mayor contenido de AR y de CPT, mientras que se observa un contenido significativamente menor en los tallos (figuras 3.1a y 3.1b, respectivamente); por tal motivo, se eligen las hojas como droga vegetal para los análisis. De esta forma, se evidencia que los compuestos fenólicos no se distribuyen uniformemente en las diferentes secciones de la planta, pues como se reporta en algunos estudios (Brown et al., 2019), los niveles de compuestos fenólicos a menudo se concentran en las capas externas de las plantas y no en sus partes interiores.

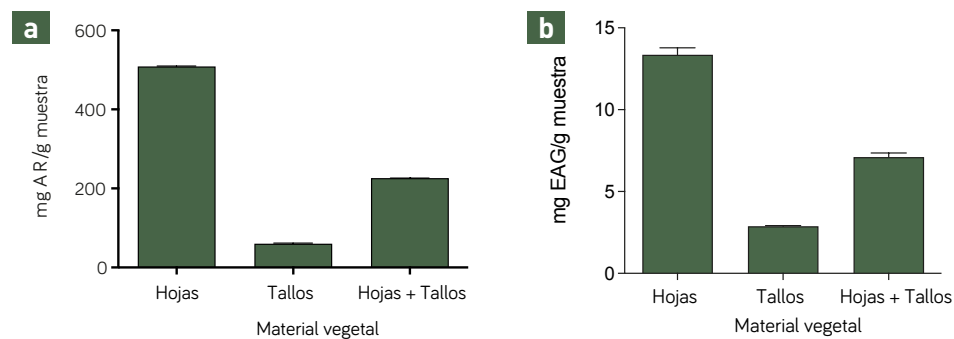


Figura 3.1. Contenido de AR y CPT en hojas, tallos y hojas más tallos. **a.** Ácido rosmarínico (AR); **b.** Polifenoles totales (CPT). El análisis estadístico usa una Anova de una vía (test de Bonferroni, $p < 0,05$). Las letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa.

Fuente: Elaboración propia

Estandarización de condiciones previas para los análisis

Para determinar las mejores condiciones en la extracción, es de gran importancia definir los factores más influyentes del proceso. En el presente estudio se determinó la influencia del solvente de extracción y para ello se establecieron seis mezclas con diferentes proporciones de etanol y agua desde 50:50 hasta 100 % etanol (%v/v). Los seis extractos obtenidos fueron analizados por su contenido de polifenoles totales (CPT) y ácido rosmarínico (AR), este último determinado por HPLC/DAD, de acuerdo con la curva de calibración establecida. La proporción P4 etanol/agua 80:20 presentó el mejor resultado de extracción en términos de los compuestos de interés (figuras 3.2a y 3.2b, respectivamente).

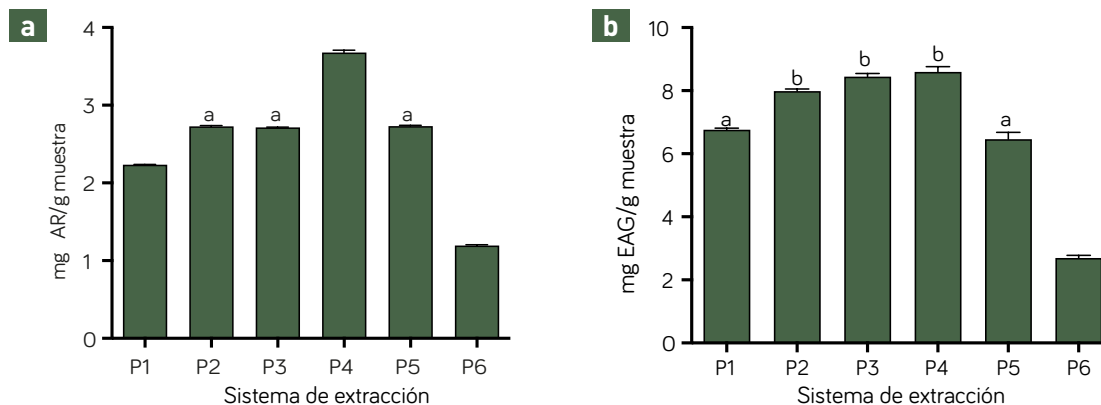


Figura 3.2. Selección del sistema de extracción en extractos obtenidos con diferentes proporciones de solvente. P1: etanol 50 %; P2: etanol 60 %; P3: etanol 70 %; P4: etanol 80 %; P5: etanol 90 %; P6: etanol 100 %. **a.** Contenido de ácido rosmarínico (AR); **b.** Polifenoles totales (CPT). El análisis estadístico usa una Anova de una vía (test de Bonferroni, $p < 0,05$). Las letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa.

Fuente: Elaboración propia

También se evaluó el tiempo de extracción, y para ello se midieron los tiempos de 10-20-30-40-50-60-80 minutos en baño de ultrasonido. Según los resultados obtenidos en términos de valor de CPT y AR, 30 minutos en baño de ultrasonido favorecen la mejor extracción de los compuestos de interés (figuras 3.3a y 3.3b, respectivamente). La influencia del tiempo en la extracción de los compuestos muestra un aumento significativo en los primeros treinta minutos, después de este tiempo hay una disminución que pudo ocurrir como error experimental. Sin embargo, de acuerdo con el análisis Anova (valor $p > 0,05$), no es significativo con respecto a los tiempos de 40 a 80 minutos. Por esta razón,

se selecciona el menor tiempo que favorece la extracción. Una vez obtenida la información del tiempo de extracción y el solvente, se buscó la mejor relación sólido/solvente, que determinaba la influencia del material vegetal y la capacidad de la mezcla extractora. Para esto, se planteó la evaluación de las proporciones 2, 4, 8, 12, 16 y 20 % (p/p). Nuevamente, el análisis se basó en la evaluación en términos de CPT y de AR (figuras 3.4c y 3.4d, respectivamente). Esta es una variable importante en los procesos de estandarización de las extracciones, que busca obtener la mayor cantidad de compuestos de interés, preservando una buena fluidización de los sólidos en el líquido.

Según los resultados, se evidencia que el 16 % permite la mayor cantidad de compuestos de interés, manteniendo poca saturación del sistema y una correcta homogeneización de la mezcla. Mayores proporciones de material vegetal no permitieron esta evaluación.

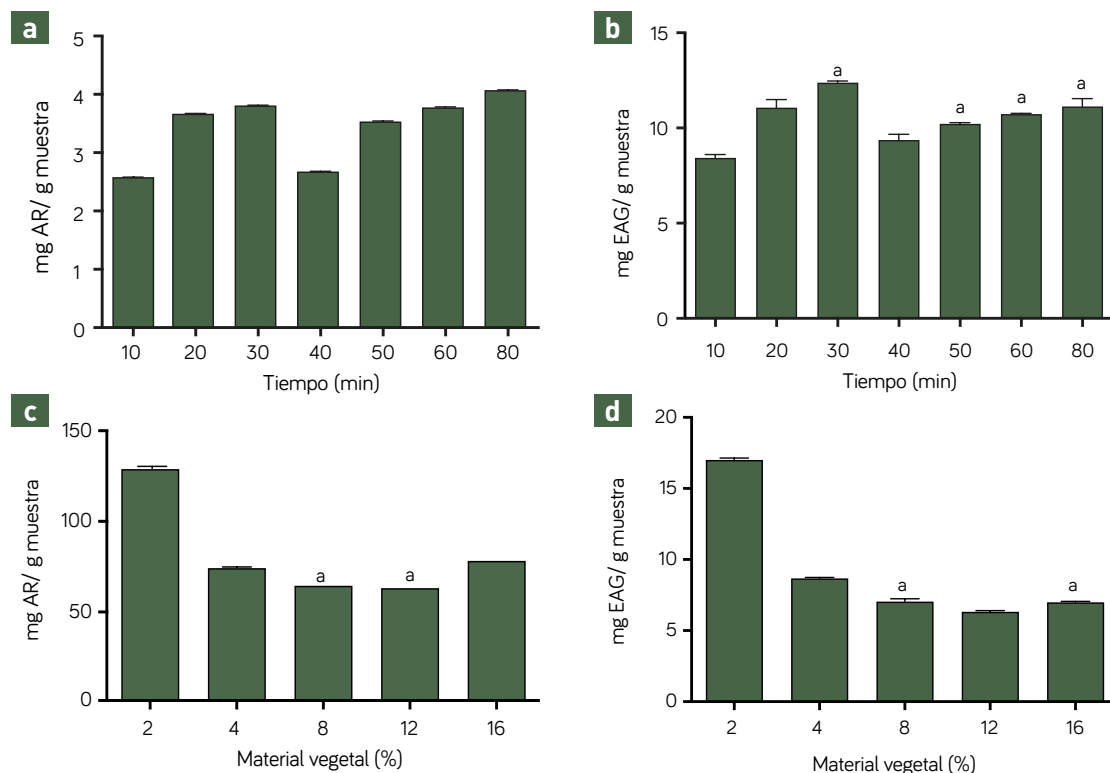


Figura 3.3. Selección del tiempo de extracción y relación sólido/solvente en los extractos obtenidos. **a.** Tiempo ácido rosmarínico (AR); **b.** Tiempo polifenoles totales (CPT). Relación sólido/solvente; **c.** Ácido rosmarínico (AR); **d.** Polifenoles totales (CPT). El análisis estadístico usa una Anova de una vía (test de Bonferroni, $p < 0,05$). Las letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa.

Fuente: Elaboración propia

Determinación del contenido de polifenoles totales de los extractos de menta

Después de la estandarización de las condiciones de extracción con una solución de extracción etanol/agua 80:20 por 30 minutos y una relación sólido/solvente del 16 % (condiciones usadas en todos los ensayos posteriores), se determinó el valor CPT para las muestras recolectadas en diferentes fincas. Los resultados estuvieron en el rango de 1,461 a 14,392 mg EAG/g de muestra (figura 3.4a). Para la realización del análisis en una misma finca, en diferentes épocas, el rango estuvo entre 2,304 a 20,853 mg EAG/g de muestra (figura 3.4b). Estos valores presentan similitud con los reportados previamente para la misma especie (Brahmi et al., 2015).

La figura 3.5a muestra la comparación entre los residuos obtenidos en los procesos de cosecha comparados con los residuos generados en comercializadora y el material de exportación. En términos del CPT, se evidencia que el material de exportación presenta una mayor dispersión de los datos, y que los residuos no presentan diferencias significativas. Adicionalmente, se observan diferencias entre

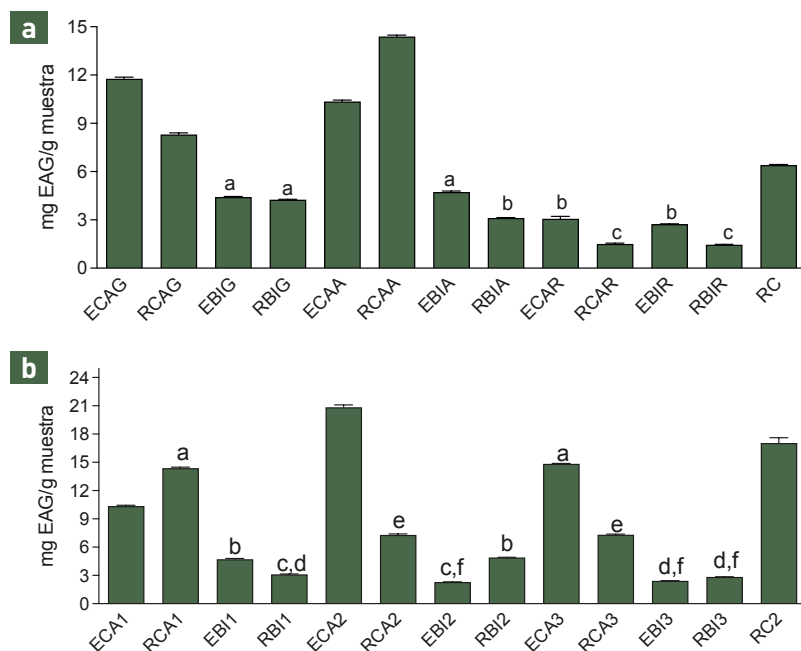


Figura 3.4. a y b. Contenido de polifenoles totales (CPT) de muestras de *M. spicata* obtenidas de diferentes fincas del Oriente antioqueño, en diferentes ambientes de cultivo (campo abierto e invernadero). Donde ECA: exportación campo abierto; RCA: residuos campo abierto; EBI: exportación bajo invernadero; RBI: residuos bajo invernadero; RC: residuos comercializadora; G: Galicia; A: AGROSAVIA, y R: El Retiro. 1: primera cosecha en AGROSAVIA; 2: segunda cosecha en AGROSAVIA, y 3: tercera cosecha en AGROSAVIA. RC2: segundo residuo comercializadora. El análisis estadístico usa una Anova de una vía (test de Bonferroni, $p < 0,05$). Las letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa.

Fuente: Elaboración propia

los orígenes de cada muestra (figura 3.5b), es decir, entre las fincas productoras, específicamente las muestras de la finca 2, que se caracteriza por tener una expresión mayor de los compuestos polifenólicos con respecto a las otras dos fincas. Las muestras que presentaron un mayor valor de CPT corresponden a las cultivadas en campo abierto, presentando diferencias significativas (valor $p < 0,05$) en comparación con las muestras cultivadas bajo invernadero (figura 3.5c). Algunos estudios (Del Valle et al., 2008; Salazar-García et al., 2017) reportan que el contenido de compuestos fenólicos es altamente influenciado por las condiciones ambientales y que es mayor en plantas expuestas a la luz en comparación con muestras provenientes de plantas cubiertas con redes. Además, la acumulación de los compuestos fenólicos en los tejidos vegetales son características distintivas del estrés ambiental, y el aumento de la biosíntesis de compuestos polifenólicos ayuda a hacer frente a las múltiples tensiones abióticas y bióticas como la salinidad, los metales pesados, la sequía, la temperatura, la luz ultravioleta, la progresión de la enfermedad, etc. (Cheynier et al., 2013; Tuladhar et al., 2021). En el análisis realizado en tres cosechas, en una misma finca (figura 3.5d), se evidencia que no hay variaciones con respecto a las épocas en el año y la edad de los cultivos; las muestras fueron colectadas en la tercera, sexta y octava cosecha, es decir, a los 120, 240 y 320 días, respectivamente.

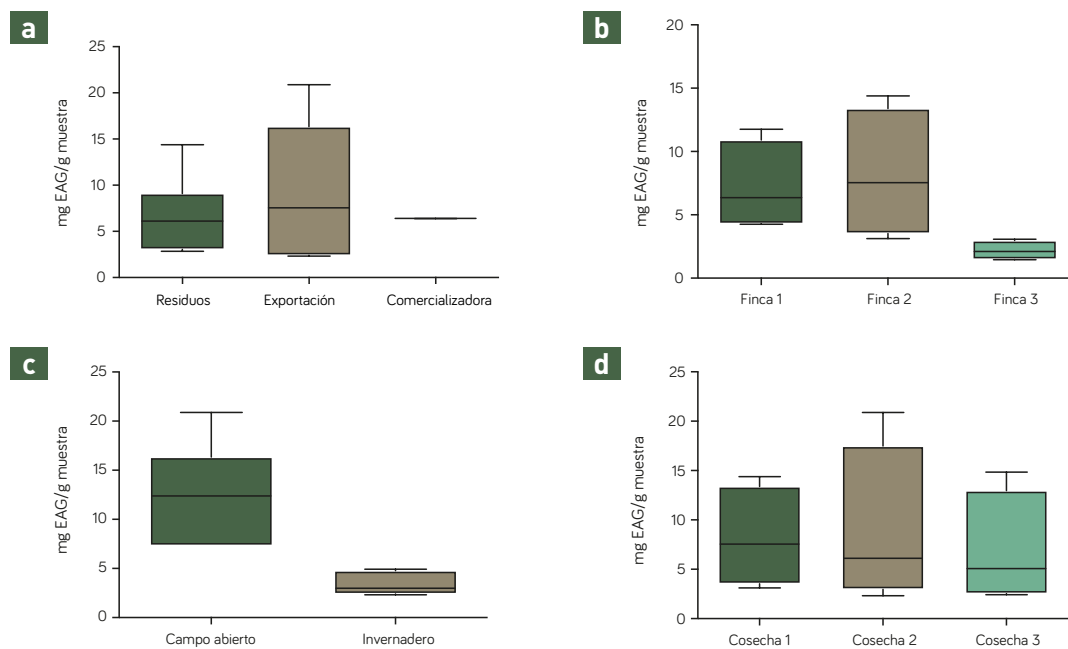


Figura 3.5. Comparación del contenido de polifenoles totales (CPT) utilizando análisis univariados por medio de gráficos de caja y bigotes. **a.** En muestras de residuo, exportación y comercializadora. **b.** En muestras de diferentes fincas (en donde Finca 1: Galicia; Finca 2: AGROSAVIA, y Finca 3: El Retiro); **c.** En muestras de campo abierto e invernadero; **d.** En muestras de diferentes cosechas.

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los compuestos fenólicos de menta por HPLC/DAD

En este estudio se realizó la caracterización química de los extractos de menta obtenidos con una mezcla de extracción etanol/agua 80:20. Según la literatura, se seleccionó un grupo de compuestos (estándares) para determinar su presencia o ausencia en los extractos vegetales (Cirlini et al., 2016; Brahmi et al., 2015). Los compuestos analizados corresponden al ácido clorogénico, ácido cafeico, ácido p-cumárico, rutina hidrato, luteolina 7-*O*-glucósido, naringina, ácido rosmarínico, apigenina 7-*O*-glucósido, luteolina, apigenina y kaempferol.

Las muestras fueron evaluadas bajo las mismas condiciones cromatográficas, optimizadas mediante un proceso simultáneo a partir de los estándares de referencia y las muestras de menta. Con este método se determinó la presencia de ácido rosmarínico (8) como compuesto mayoritario, usando DAD a 390 nm (figura 3.6). Este compuesto está presente en todas las muestras evaluadas y ha sido considerado uno de los principales marcadores fenólicos en menta (Narasimhamoorthy et al., 2015). Finalmente, según el tiempo de retención, los compuestos ácido cafeico, ácido clorogénico, luteolina 7-*O*-glucósido y kaempferol fueron identificados tentativamente en los cromatogramas de las muestras.

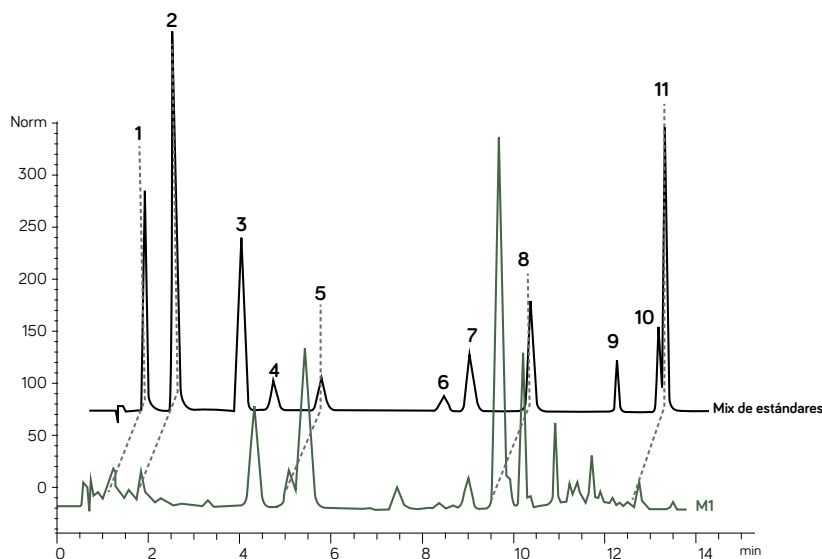


Figura 3.6. Cromatograma representativo de la muestra de análisis M1 por HPLC/DAD: *M. spicata*, exportación a campo abierto vereda Galicia, y cromatograma representativo del mix de estándares utilizados a 50 ppm: ácido clorogénico (1); ácido cafeico (2); ácido p-cumárico (3); rutina-hidrato (4); luteolina 7-*O* glucósido (5); naringina (6); apigenina 7-*O* glicósido (7); ácido rosmarínico (8); luteolina (9); apigenina (10); kaempferol (11).

Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de obtener un resultado más representativo, las muestras fueron cuantificadas en términos de mg de ácido rosmarínico por gramo de muestra, y con ello poder hacer comparaciones cuantitativas entre las diferentes muestras colectadas.

Como se observa en la figura 3.7, se presenta un aumento del compuesto de interés en las muestras cultivadas a campo abierto, a diferencia de las muestras cultivadas bajo invernadero. El rango de respuesta se evidencia entre 0,082 y 9,112 mg AR/g muestra.

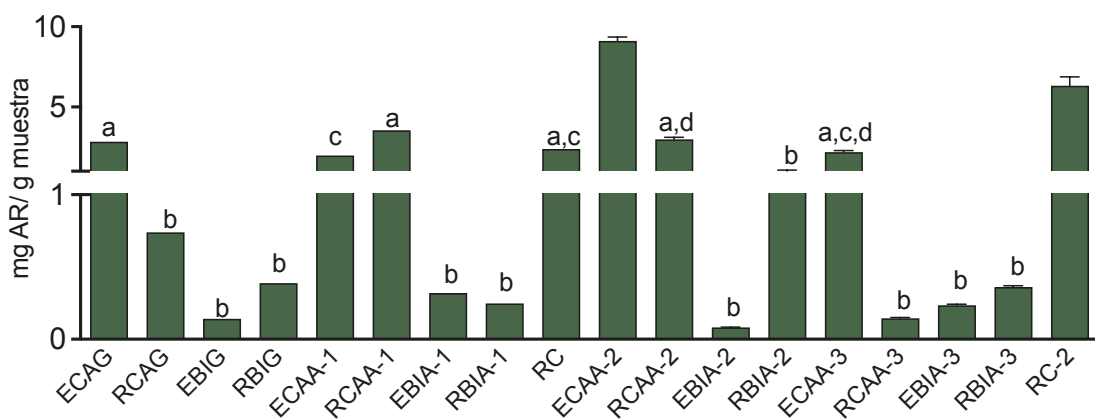


Figura 3.7. Contenido de ácido rosmarínico de muestras de *M. spicata* obtenidas en diferentes fincas del Oriente antioqueño, con diferentes ambientes de cultivo (campo abierto e invernadero). Donde ECA: exportación campo abierto; RCA: residuos campo abierto; EBI: exportación bajo invernadero; RBI: residuo bajo invernadero; RC: residuos comercializadora; G: Galicia; A: AGROSAVIA, y R: El Retiro. 1: primera cosecha en AGROSAVIA; 2: segunda cosecha en AGROSAVIA, y 3: tercera cosecha en AGROSAVIA. RC2: segundo residuo comercializadora. El análisis estadístico usa una Anova de una vía (test de Bonferroni, $p < 0,05$). Las letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa.

Fuente: Elaboración propia

En este trabajo se determinó el ácido rosmarínico como el marcador principal de los compuestos fenólicos presentes en esta especie. Por tal motivo, se realizaron las diferentes comparaciones en términos de este. Se observa que los residuos de comercializadora presentan un contenido de ácido rosmarínico comparable con aquel presente en el material de exportación (figura 3.8a); en ese sentido, este material se presenta como candidato para el desarrollo de un ingrediente alimentario. Al igual que los datos obtenidos en CPT, cuando se realiza la comparación entre los orígenes de las muestras, se encuentra que en la finca 2 hay una mayor expresión del metabolito de interés, y en la finca 3 las muestras analizadas no presentan ácido rosmarínico (figura 3.8b). Las muestras obtenidas de cultivos en campo abierto presentaron mayor

cantidad de compuestos fenólicos y ácido rosmarínico que las obtenidas de cultivos bajo invernadero (figura 3.8c). Finalmente, en el análisis realizado en tres cosechas en una misma finca (figura 3.8d), se evidencian las variaciones con respecto a las épocas en el año y la edad de los cultivos. Las muestras de la segunda cosecha realizadas en febrero tienen gran cantidad de ácido rosmarínico.

Análisis por HPLC-DAD-ESI/MSn

En procura de obtener más información sobre los compuestos fenólicos presentes en las muestras, se decidió realizar una identificación mediante análisis por HPLC-DAD-ESI/MSⁿ. El perfil cromatográfico obtenido para el extracto de *M. spicata* se muestra en la figura 3.9 y en la tabla 3.5, en las que se identifican los 27 compuestos hallados tentativamente, los cuales fueron identificados según el tiempo de retención, los espectros de masas y los patrones

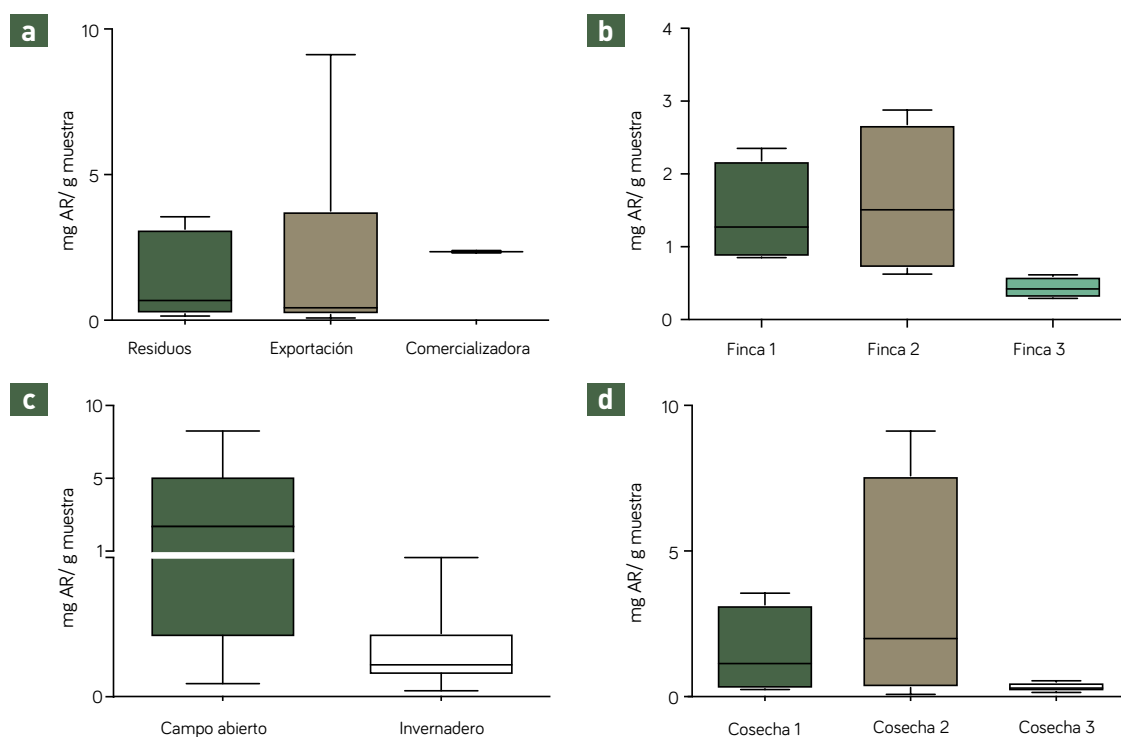


Figura 3.8. Comparación del contenido de ácido rosmarínico a partir de análisis univariados por medio de gráficos de caja y bigotes. **a.** En muestras de residuo, exportación y comercializadora. **b.** En muestras de diferentes fincas (donde Finca 1: Galicia; Finca 2: AGROSAMIA, y Finca 3: El Retiro); **c.** En muestras de campo abierto e invernadero; **d.** En muestras de diferentes cosechas.

Fuente: Elaboración propia

de fragmentación encontrados en bases de datos. Los 27 compuestos fueron tentativamente identificados con base en el análisis de su espectro de masas característico (MS^2 y MS^3) y su comparación con la información reportada en la literatura. Todos los compuestos presentes en la muestra fueron informados previamente para la especie (Brown et al., 2019; Cirlini et al., 2016; Özer, 2018). Además, se comprueba que el compuesto mayoritario es el ácido rosmarínico (m/z 359, MS^n 359, 223, 197, 161), y que es posible detectar diferentes derivados de este. Otros productos polares incluidos en la menta corresponden a los ácidos hidroxicinámicos, como el ácido cafeico, el ácido caftárico y el ácido cumárico (Cirlini et al., 2016). El perfil de compuestos fenólicos muestra también la presencia de compuestos derivados del ácido cafeoilquínico, tales como el ácido neo y criptoclorogénico, y el ácido feruloilquínico (Cirlini et al., 2016). Finalmente, algunas flavonas (luteolina y apigenina), flavonoles (kaempferol) y flavanonas (naringenina) también fueron identificadas en la muestra.

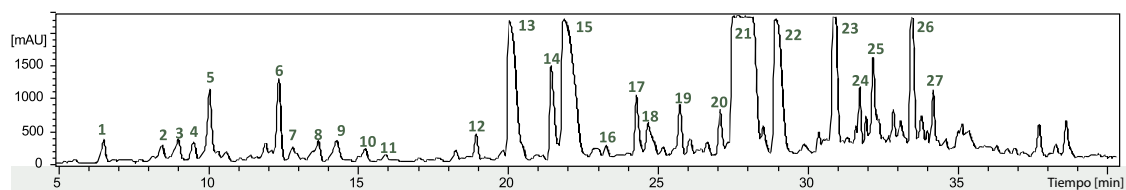


Figura 3.9. Cromatográfico representativo de *M. spicata* obtenido por HPLC-DAD-ESI/ MS^n .

Fuente: Elaboración propia



Tabla 3.5. Compuestos identificados tentativamente por HPLC-DAD-ESI/MSⁿ

Pico	TR min	[M-H] ⁻ m/z	MS ⁿ (MS ² , MS ³) experimental	Compuestos
1	6,5	353	191 , 179, 135	Ácido neoclorogénico
2	8,5	311	179, 149	Ácido caftárico
3	9,0	337	163 , 119	Ácido 3- <i>p</i> -cumariolquínico
4	9,5	325	163 , 119	Hexosa <i>p</i> -cumariol
5	10,0	353	179, 173	Ácido criptoclorogénico
6	12,3	179	159, 153	Ácido cafeico
7	12,8	593	473, 383, 503, 353 , 297	Vicenin 2
8	13,7	337	173 , 137, 111	Hexosa 4- <i>p</i> -cumariol
9	14,7	377	359 , 265	Derivado ácido rosmarínico
10	15,0	377	359 , 197, 135	Derivado ácido rosmarínico
11	15,2	367	191, 173	Ácido -4-feruloilquínico
12	18,9	595	287, 151	Eritrocina
13	20,0	593	285 , 241, 175, 151	Luteolina-7- <i>O</i> -rutinosido
14	21,4	447	285	Luteolina-7- <i>O</i> -glucósido
15	21,8	461	285 , 243, 175	Luteolina-7- <i>O</i> -glucorónido
16	23,3	579	271	Narinrutina
17	24,3	577	269 , 225	Apigenina-7- <i>O</i> -rutinosido
18	24,7	717	519 , 475, 365, 321	Ácido salvianólico
19	25,7	609	301 , 286, 227	Hesperidina
20	27,0	445	269 , 225, 175	Apigenina-7- <i>O</i> - glucorónido
21	27,5	359	359 , 223, 197, 161	Ácido rosmarínico
22	29,0	461	315, 285 , 241	Kaempferol-7- <i>O</i> - glucorónido
23	30,9	537	493 , 359, 295	Ácido litospérmico
24	31,7	533	387 , 369, 207, 163	Medioresionol- <i>O</i> -ramnósido
25	32,2	563	387 , 370/369, 207	Medioresionol- <i>O</i> -glucorónido
26	33,4	493	359 , 223, 179, 161	Derivado ácido rosmarínico
27	34,1	493	359 , 223, 197, 179, 161	Derivado ácido rosmarínico

Fuente: Elaboración propia

Análisis de compuestos terpénicos en *M. spicata* por GC/MS

Con base en la información reportada para *M. spicata*, el aceite esencial, los extractos apolares y aquel obtenido con etanol al 80 % fueron sometidos a análisis por GC/MS sin realizar ningún proceso de derivatización (Narasimhamoorthy

et al., 2015). Se determinó la composición del aceite esencial en seis de las muestras colectadas, con el propósito de conocer su quimiotipo. Estas muestras fueron las cultivadas a campo abierto en las tres fincas productoras: ECAR, ECAG, ECAA, además de las cultivadas bajo invernadero en AGROSAVIA, tanto de residuos como exportación RCAA, EBIA y RBIA. La selección de estas muestras se basó en la gran disponibilidad de material vegetal. De acuerdo con el análisis de los patrones de fragmentación y los pesos moleculares de los compuestos, se obtiene la información para cada muestra, además de la comparación entre el índice de Kovats (experimental) y el reportado en la literatura (teórico). Este índice describe el comportamiento de retención de un compuesto de interés con respecto al de una muestra de alcanos (tabla 3.6) (Chrysargyris et al., 2017; Kedia et al., 2014). Un total de 23 compuestos (alrededor del 80 % del aceite esencial) fueron identificados a través de la base de datos NIST 2017. El principal constituyente identificado correspondió a la carvona (30-49 %), seguido de *trans*-carveol (10-17 %), β -cariofileno (4-8 %) y germacreno-D (2-4 %). Diferentes estudios reportan la composición del aceite esencial de menta y se establece la presencia de diferentes quimiotipos, a saber: quimiotipo 1: carvona e dihidrocarvona; quimiotipo 2: linalool; quimiotipo 3: mentona e isomentona, y quimiotipo 4: piperitónn óxido y pulegona. Por lo tanto, independientemente de las fincas o de los ambientes de las muestras recolectadas, estas se pueden considerar pertenecientes al quimiotipo de carvona, aunque con variaciones cuantitativas en sus porcentajes. Los resultados concuerdan con los de otros autores que reportan perfiles cromatográficos relacionados con el quimiotipo de carvona obtenido a partir de *M. spicata* (Edris et al., 2003; Snoussi et al., 2015; Zheljazkov et al., 2010).

La comparación de los aceites esenciales provenientes de las muestras de fincas cultivadas a campo abierto identifican que ECAA (58,52 %) presenta el mayor contenido de carvona con respecto a ECAR y ECAG (29,77 % y 48,01 %, respectivamente). Si bien todas las muestras son cultivadas a campo abierto, se presenta una diferencia significativa entre la cantidad de carvona presente en ellas. Finalmente, el análisis del material proveniente de residuos y tipo exportación de menta, tanto en campo abierto como en invernadero (ECAA 58,52 %, RCAA 40,01 %, EBIA 49,22 %, RBIA 47,15 %), no muestra diferencias significativas en la cantidad de carvona para los residuos y el material de exportación en el material cultivado bajo invernadero. Por el contrario, el material obtenido a campo abierto presenta diferencias significativas según el análisis Anova (test Bonferroni $p > 0,05$). El rendimiento de la extracción del aceite esencial estuvo entre 0,198 % y 0,297 %, valores similares a los obtenidos por otros autores que informan rendimientos relativamente bajos para la especie (Orellana Salazar, 2017) (tabla 3.6).

Como el objetivo de esta investigación se relaciona con la posibilidad de aprovechar los compuestos terpénicos presentes en los residuos de menta, fue fundamental el análisis de la composición química del aceite esencial y el grado de extracción de los compuestos volátiles, que se puede alcanzar a través del uso de solventes con diferentes polaridades. Así, la química del aceite esencial fue comparada con la química de los extractos obtenidos con solventes orgánicos como hexano, diclorometano, acetato de etilo y las proporciones hexano/acetato de etilo 50:50 y 75:25. Estos solventes se han usado durante muchos años

Tabla 3.6. Composición química del aceite esencial de *M. spicata*

Índice de Kovats	Aceite esencial % relativo							
	Teórico	Experimental	ECAR	ECAG	ECAA	RCAA	EBIA	RBIA
Furan, 2,5-dietiltetrahidro	1,028 a	9,01	0,59					
D-Limonene	1,198 a	1,027	0,66	1,84	4,28	0,43	1,19	0,52
Neodihydrocarveol	1,219 a	1,194	3,24	1,23	0,61	2,22	0,95	2,19
trans-carveol	1,244 a	1,218	17,12	11,07	4,0	14,2	10,12	13,55
Carvona	1,324 b	1,246	29,77	48,01	58,52	40,01	49,22	47,15
Dihydrocarvyl acetate		1,323				0,36		
trans-Carveyl acetate		1,331	0,95	0,38		0,41		
γ -Elemene	1386 a	1,335	0,67				0,41	
β -bourbenene	1,393 a	1,386	4,38	3,23	3,59	4,35	3,29	2,83
β -Elemene	1,425 a	1,392	1,09	1,11	1,75	1,39	1,23	1,05
β -Caryophyllene		1,424	8,42	5,38	4,55	4,92	6,37	5,38
β -Copaen-4 α -ol		1,430	1,84	1,46	1,17	1,56	1,77	1,55
ϵ -Muurolene		1,445					0,86	
(-)-Isogermacrene D		1,446	1,16	1,02	0,84	1,07		0,87
(E)- β -Famesene	1,466 c	1,450	1,61	1,21	0,93	1,38	1,41	1,24
cis-Muurola-4(15),5-diene	1,481 c	1,465	1,29	1,9	1,07	1,72	1,8	1,55
Germacrene D		1,483	4,52	3,62	2,55	2,76	4,09	3,51
γ -cadinene	1,534 a	1,497	0,72				0,44	0,37
trans-Calamenene	1,578c	1,533	0,8	1,31	0,69	1,27	1,34	1,25
(-)-Spathulenol	1,657 a	1,581	2,74	0,75		0,77	0,94	0,91
α -Cadinol		1,656	0,9	1,04		1,32	1,12	1,42
(1R,7S,E)-7-Isopropyl-4,10-dimethylenecyclodec-5-enol		1,688	0,46			0,46		
		2,102				0,74		0,44
Monoterpenos		52,33		62,53	67,41	57,63	61,48	63,41
Sesquiterpenos		30,6		22,03	17,14	23,71	24,66	22,37
Total		82,93		84,56	84,55	81,34	86,55	85,78
% Rendimiento		0,199		0,198	0,198	0,297	0,199	0,199

Fuente: Elaboración propia

para la extracción de compuestos apolares, gracias a su facilidad de disolver sustancias no hidrosolubles (Li et al., 2016). Sin embargo, se decidió utilizar también el sistema etanol/agua 80:20, el cual se estandarizó en trabajos previos en el laboratorio. Este sistema, que presentó el mayor porcentaje de extracción de compuestos fenólicos, es aprobado también para su uso en alimentos, así como en la elaboración de ingredientes naturales con fines alimentarios. Los resultados muestran que la mayor cantidad de compuestos terpénicos también es obtenida con etanol al 80 % (tabla 3.7). Así, se evidencia que el etanol permite la extracción de compuestos polares y no polares, tal como se reportó previamente (Sumarni et al., 2020). Esta información es de gran relevancia, pues con el mismo modelo de extracción se pueden obtener los compuestos fenólicos y terpénicos, sin la necesidad de pasos secuenciales de extracción.

Tabla 3.7. Composición química de los diferentes sistemas de extracción de muestras de *M. spicata*

	Solventes de extracción % relativo						
	AE	H:A 50:50	H:A 75:25	Hexano 100%	Acetato de etilo 100%	Diclorometano 100%	Etano 180 %
D-Limonene	4,28						0,23
Neodihydrocarveol	0,61						
Trans-Carveol	4,0	3,72	2,82	9,11	6,09		
Carvona	58,52	17,89	12,64	39,42	26,36	25,85	30,51
Dihydrocarvylacetate				0,57			
Trans-Carveylacetate				0,75			
γ -Elemene				0,67			
β -bourbenene	3,59			0,79			3,11
β -Elemene	1,75						0,47
β -Caryophyllene	4,55						8,96
β -Copaen-4 α -ol	1,17				3,06		
ϵ -Muuroleene							2,54
(-)-IsogermacreneD	0,84			4,10			2,39
(E)- β -Famesene	0,93						1,5
cis-Muurole- 4(15),5-diene	1,07			1,60	0,80		5,72
Germacrene D	2,55	2,24	0,78	2,99	1,66	6,23	6,26
γ -cadinene							
trans-Calamenene	0,69						3,24
Monoterpenos	67,41	21,61	15,46	49,85	32,45	25,85	30,74
Sesquiterpenos	17,14	2,24	0,78	10,15	5,52	6,23	34,19
TOTAL	84,55	23,85	16,24	60,00	37,97	32,08	64,93

H:A = hexanos/acetato de etilo
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se procedió a cuantificar la carvona mediante una curva de calibración, y con base en la información obtenida se analizaron las variaciones en cada muestra. El contenido de carvona estuvo en el rango de 0,203 a 0,756, y de 0,122 a 0,756 mg carvona/g para las muestras cultivadas en diferentes fincas y diferentes épocas, respectivamente (figura 3.10a y 3.10b). Las muestras que presentaron mayor cantidad de carvona corresponden a las cultivadas en la primera cosecha en AGROSAVIA, ECCA-1, RCAA-1, EBIA-1 y RBIA-1.

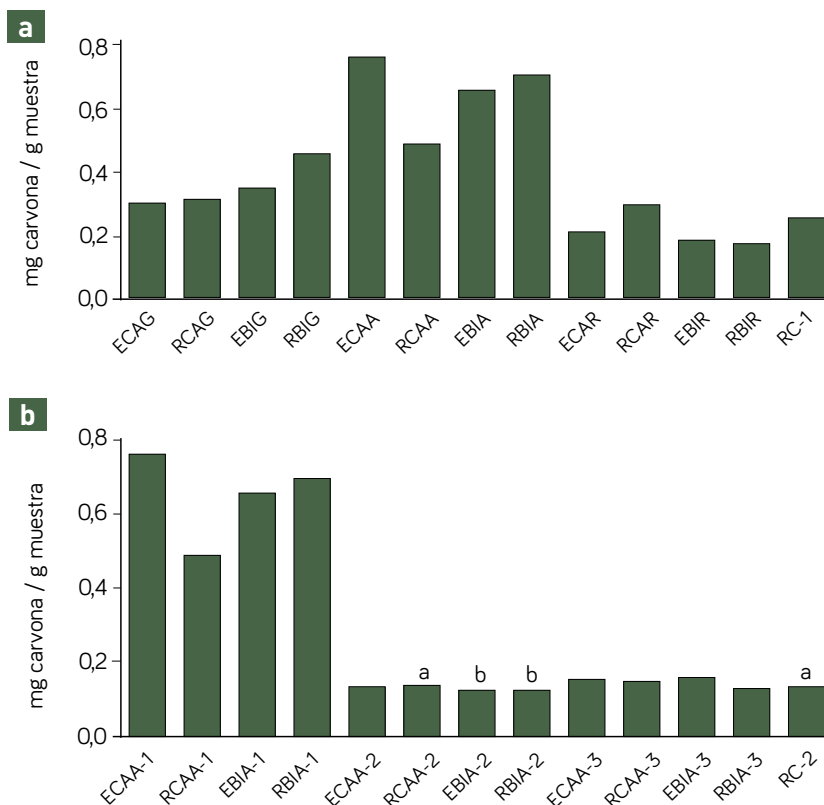


Figura 3.10. a y b. Contenidos de carvona en muestras de diferentes fincas del Oriente antioqueño con diferentes ambientes de cultivo (campo abierto e invernadero). Donde ECA: exportación campo abierto; RCA: residuos campo abierto; EBI: exportación bajo invernadero; RBI: residuos bajo invernadero; RC: residuos comercializadora; G: Galicia; A: AGROSAVIA, y R: El Retiro. 1: primera cosecha en AGROSAVIA; 2: segunda cosecha en AGROSAVIA, y 3: tercera cosecha en AGROSAVIA. RC2: segundo residuo comercializadora. El análisis estadístico usa una Anova de una vía (test de Bonferroni, $p < 0,05$). Las letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa.

Fuente: Elaboración propia

En la comparación realizada entre los residuos obtenidos en los procesos de cosecha comparados con los residuos generados en comercializadora y el material de exportación, se encuentra que los valores del material de residuo no presentan diferencias significativas con respecto al material de exportación (figura 3.11a). Cuando se realiza el análisis de los orígenes de cada muestra, es decir, entre las fincas productoras (figura 3.11b), se encuentra que la finca 2 se caracteriza por tener una expresión mayor de carvona en comparación con las otras dos fincas. Esta información es similar a la obtenida en AR y CPT. En el caso de la comparación de los ambientes de cultivo en campo abierto y bajo invernadero (figura 3.11c), se evidencia poca diferencia en los dos ambientes de cultivo en términos de carvona. No obstante, en los cultivos de invernadero hay una mayor variabilidad de los datos. En el análisis realizado en tres cosechas en una misma finca (figura 3.11d), se evidencia la mayor cantidad de carvona en la primera cosecha. Sin embargo, no se presenta información relacionada con esta especie ni los cambios en los cultivos a través del tiempo.

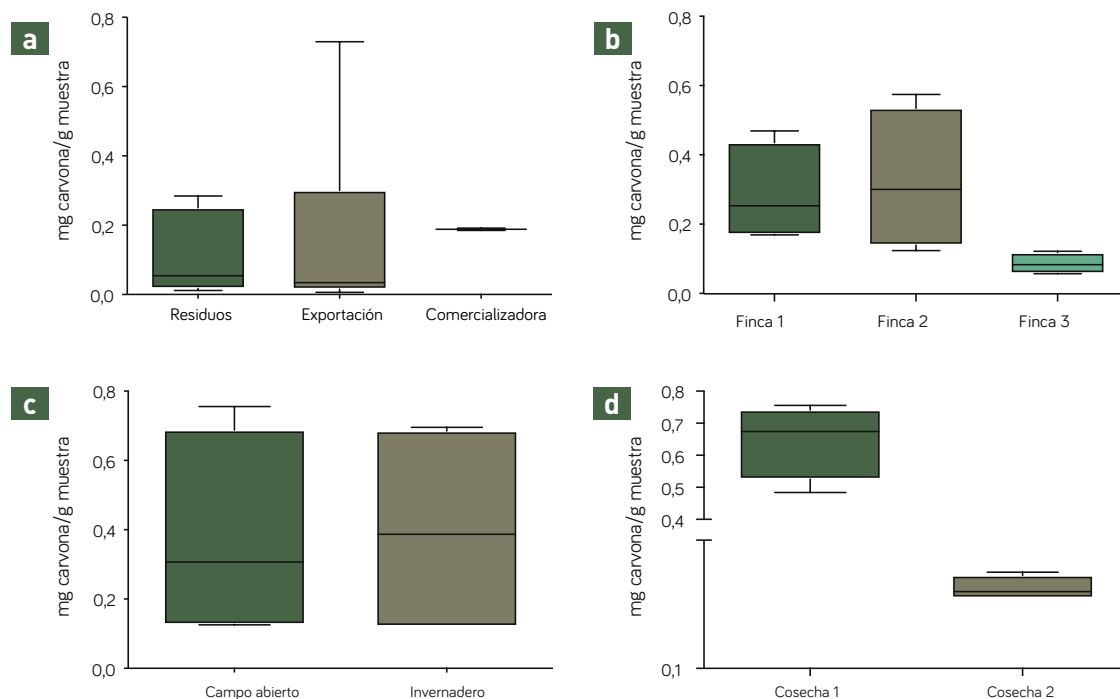


Figura 3.11. Comparación del contenido de carvona utilizando análisis univariados por medio de gráficos de caja y bigotes. **a.** En muestras de residuo, exportación y comercializadora, **b.** En muestras de diferentes fincas (donde finca 1: Galicia; finca 2: AGROSAVIA, y finca 3: El Retiro); **c.** En muestras de campo abierto e invernadero; **d.** En muestras de diferentes cosechas.

Fuente: Elaboración propia

Con la información obtenida en los diferentes análisis a través del capítulo, se encuentra que los residuos tanto de comercializadora como el generado en las fincas podrían ser utilizados de igual forma que el material de exportación para el desarrollo de los ingredientes naturales. En este punto es importante aclarar que el material de residuos en campo requiere un proceso adicional de separación de los tallos y las hojas. Si bien la química no presenta cambios a la hora de realizar los escalados, se deben evaluar los factores de tiempo y proceso. En el caso específico de los residuos de comercializadora, los valores no presentan distribución debido a la poca cantidad de muestra. Sin embargo, se encuentra que este material tiene igual calidad química y su procesamiento no requiere de tanta inversión de tiempo. Por este motivo, se proponen los residuos de comercializadora para el desarrollo del bioingrediente.

Optimización del proceso de extracción asistida por ultrasonido y desarrollo de un ingrediente natural

Selección de la relación sólido/solvente de extracción

Para la optimización de la relación sólido/solvente en la extracción asistida por ultrasonido, se determinó la influencia del material vegetal y la capacidad de la solución. En las figuras 3.12a, 3.12b y 3.12c, se observa un incremento de los compuestos de interés en forma proporcional al porcentaje de material vegetal en 4 y 7 % de sólidos. Basados en resultados visuales, la carga a 10 % no fue evaluada por la saturación del flujo y, por ende, una deficiente homogeneización de la mezcla. Teniendo presente los resultados, se determina una diferencia significativa entre los porcentajes de material vegetal de acuerdo con un análisis de varianza (Anova). Se establece que, en términos de los compuestos analizados (CPT, AR y carvona), la relación 7 % de material vegetal presenta buena fluidización del sistema y la mayor cantidad de compuestos de interés en el proceso extractivo a flujo constante y asistido por ultrasonido de alta intensidad (UHI).

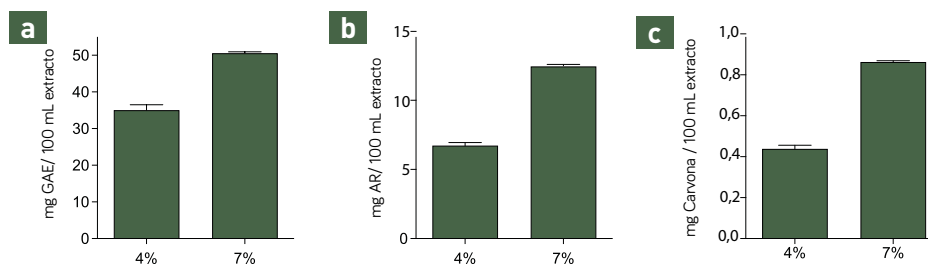


Figura 3.12. Relación sólido/solvente de extracción en extractos obtenidos con diferentes proporciones de material vegetal. **a.** Contenido de polifenoles totales (CPT). **b.** Ácido rosmarínico; **c.** Carvona. El análisis estadístico usa una Anova de una vía (test de Bonferroni, $p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Modelado de extracción (tiempo y amplitud ultrasónica)

Anteriormente, se determinó un porcentaje de material vegetal del 7 % como primera condición optimizada. No obstante, existen otros factores que requieren ser optimizados, tales como el tiempo de extracción y la amplitud ultrasónica. Los datos recogidos experimentalmente y el modelado de la cinética de extracción de Peleg en la obtención de los compuestos marcadores de *M. spicata* se presentan en la figura 3.13a, que muestra diferentes amplitudes y tiempos de extracción, y en la figura 3.13b, que indica diferentes temperaturas y tiempo.

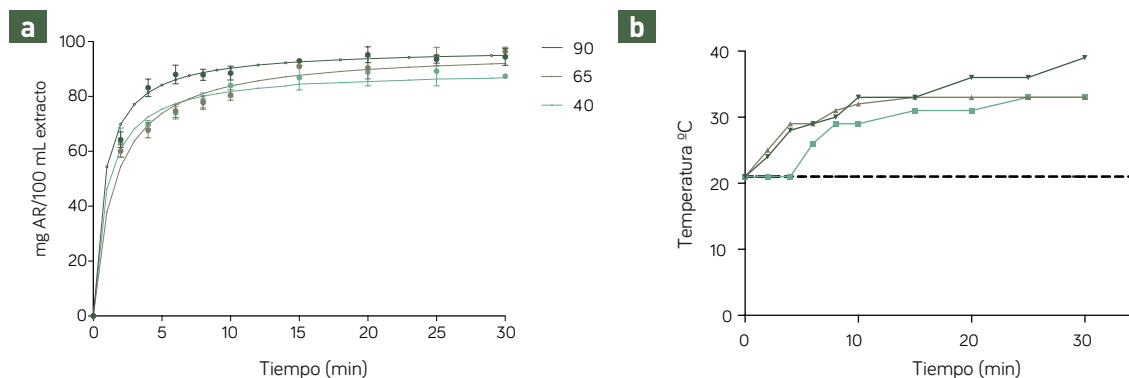


Figura 3.13. Modelado de cinética de extracción. **a.** Cinética de extracción de ácido rosmarínico en *M. spicata* con diferentes amplitudes y tiempos; **b.** Cambios de la temperatura a diferentes amplitudes.

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los resultados determina que el factor con mayor impacto en la extracción de los compuestos de interés corresponde en mayor medida a la amplitud ultrasónica; sin embargo, el tiempo también es un factor influyente. En el caso de la cinética de ácido rosmarínico, se obtuvo un buen ajuste de los datos experimentales con el modelo aplicado con un r^2 de 0,99. Según la cinética de extracción, se encuentran diferencias en las amplitudes evaluadas, aunque las curvas de extracción obtenidas mostraron un comportamiento similar. La cantidad de ácido rosmarínico aumentó rápidamente en los primeros cinco minutos, con una rampa de crecimiento hasta el minuto 10. Después de este tiempo, la concentración creció ligeramente hasta llegar al equilibrio (figura 3.13a). Estos valores aumentaron directamente con el tiempo y la amplitud utilizada, los cuales acrecentaron la temperatura en el sistema. Un aumento en la temperatura se relaciona con el aumento de la solubilidad por saturación del disolvente (Sandilya & Kannan, 2010).

En el proceso de extracción del ácido rosmarínico fue indispensable la estandarización de la amplitud y el tiempo de extracción. Según los resultados, se elige la amplitud de 90 % y un tiempo de 5 minutos. Un análisis similar se realizó para el compuesto mayoritario terpénico, la carvona (figura 3.14a) y el contenido de polifenoles totales (figura 3.14b). En un estudio similar, los autores indicaron que la obtención de carvona presentó mayor rendimiento a través de la técnica de extracción asistida por ultrasonido. Se encontró que las variables de amplitud ultrasónica y tiempo de extracción fueron efectivas en el rendimiento de las extracciones con ultrasonido (Mansoori et al., 2020). Estos compuestos tienen un comportamiento similar al obtenido con el ácido rosmarínico, en el que se observa la influencia de la amplitud y el tiempo para favorecer su extracción. Así, con los resultados de optimización de la extracción por UAI, se presenta la opción integrada para la obtención simultánea de compuestos fenólicos y terpénicos a partir de plantas de menta,

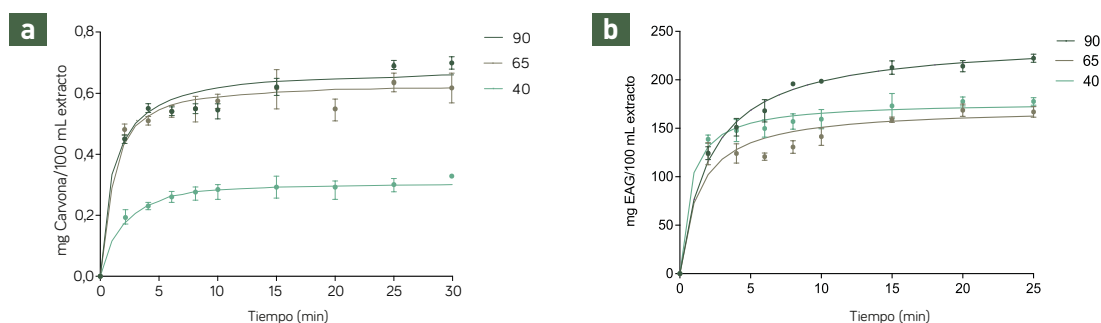


Figura 3.14. Modelado de cinética de extracción. **a.** Cinética de extracción de carvona en *M. spicata* con diferentes amplitudes y tiempos; **b.** Cinética de extracción de polifenoles totales.

Fuente: Elaboración propia

Extracciones sucesivas

Una vez optimizados los parámetros de relación sólido/solvente, amplitud y temperatura, se procedió a evaluar la capacidad de saturación del solvente de extracción. Para este análisis se partió de un lote de 700 mL de solvente de extracción etanol/agua 80:20, con una carga inicial de 7 % de material sólido seco y molido con las condiciones establecidas en el equipo ultrasónico. Una vez terminado el proceso de extracción, el líquido obtenido después de la primera extracción fue filtrado y se utilizó como solvente de la segunda extracción. Con este nuevo volumen, se recalculó la cantidad de material vegetal nuevo a adicionar y se repitió una vez más el proceso de extracción. El experimento se

realizó sucesivamente seis veces y se evaluó la cantidad de polifenoles totales (figura 3.15a), ácido rosmarínico (figura 3.15b) y carvona (figura 3.15c).

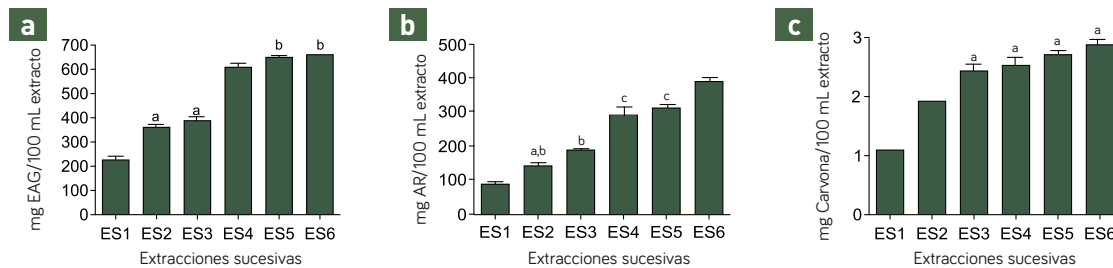


Figura 3.15. Extracciones sucesivas de extractos obtenidos después de realizar nuevas cargas de material vegetal en cada extracción, manteniendo el mismo solvente. **a.** Contenido de polifenoles totales (CPT); **b.** Ácido rosmarínico; **c.** Carvona. El análisis estadístico usa una Anova de una vía (test de Bonferroni, $p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los valores obtenidos de CPT, ácido rosmarínico y carvona, se determinó una diferencia medianamente significativa entre las extracciones sucesivas a partir de ES4, de acuerdo con un análisis de varianza (Anova) con la prueba de Bonferroni. Esta evaluación permite entender que el solvente de extracción puede ser cargado varias veces con material vegetal sin llegar a un punto de saturación. No obstante, al analizar en términos de practicidad, se debe considerar el gasto de material vegetal, el gasto energético en los pasos de filtración y las pérdidas de solvente, lo cual podría hacer más costoso el proceso productivo. Teniendo en cuenta estos datos, se consideran viables los desarrollos que impliquen reducción de variables y pasos en la realización. Se establece, entonces, que la extracción sucesiva ES4 es la mejor extracción para ser utilizada en los procesos extractivos asistidos por UAI.

Desarrollo de ingrediente natural con aplicación alimentaria. Obtención de los extractos

El primer paso para la obtención de los ingredientes líquidos hidroalcohólicos fue realizar los extractos líquidos con las condiciones previamente establecidas. Sin embargo, en este punto se buscó determinar diferentes porcentajes de material vegetal seco y fresco, este último se obtuvo en forma de pasta, tras un proceso de licuado de las hojas. Estas proporciones en las mezclas no deben superar el 7 % de relación sólido/solvente. Así, se realizaron cuatro tratamientos con el mismo solvente de extracción, pero con diferentes mezclas de material

seco y material fresco de menta. El primer ingrediente, E1, contenía un 100 % de material seco; el segundo ingrediente, E2, 20 % de pasta y 80 % de material seco; el tercer ingrediente, E3, 35 % de pasta y 65 % de material seco, y el último ingrediente, E4, 50 % de pasta y 50 % de material seco. El propósito de las diferentes mezclas entre las formas del material vegetal consistió en obtener la mayor cantidad de compuestos presentes en el material seco y conservar las características organolépticas en el material fresco. Una vez obtenidos, se procedió a evaluar las propiedades químicas y organolépticas.

Pruebas organolépticas: análisis descriptivo y discriminativo de los extractos desarrollados

En el análisis de los ingredientes desarrollados se realizó el análisis descriptivo y discriminativo. Para esto se inició con la cuantificación de los compuestos de interés previamente estudiados, ácido rosmarínico, carvona y contenido de polifenoles totales. De acuerdo con los resultados, el extracto E1 presentó la mayor cantidad de polifenoles totales (figura 3.16a), seguido de E2, E3 y E4. En general, se observan diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$), excepto entre los extractos E3 y E4. Un comportamiento similar se observa en el análisis de ácido rosmarínico (figura 3.16b), donde E1 tiene más AR, y por último en el análisis de carvona (figura 3.16c); se evidencia significativamente la cantidad de este compuesto en E1 con respecto a los demás extractos. Se concluye que, cuando hay mayor presencia de material seco, se incrementa la cantidad de compuestos de interés.

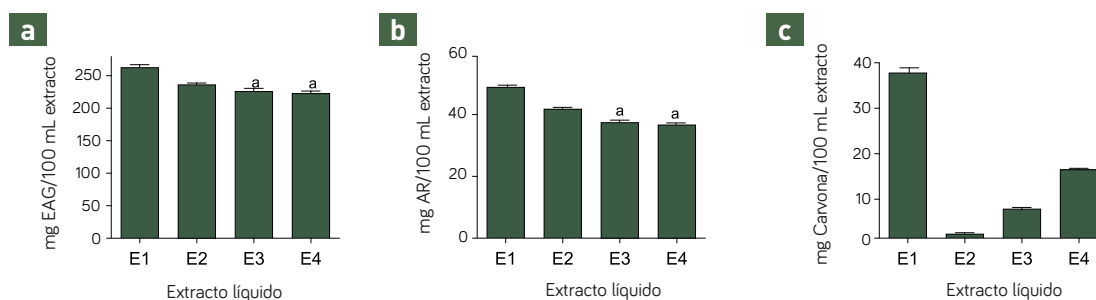


Figura 3.16. Proporción de material vegetal seco y pasta en extractos obtenidos con diferentes proporciones de material vegetal. **a.** Contenido de polifenoles totales (CPT); **b.** Ácido rosmarínico; **c.** Carvona. El análisis estadístico usa una Anova de una vía (test de Bonferroni, $p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis sensorial de los ingredientes de menta, se tomaron las muestras realizadas anteriormente y se prepararon al 1 % en agua. Además, se comparó con respecto a un té comercial de menta y un macerado de hojas para confrontar el sabor. Se realizó el proceso correspondiente para poder obtener cada muestra de comparación y realizar la catación. Cada muestra conservó un respectivo código para su identificación. En el análisis sensorial de los extractos, siguiendo la metodología propuesta, se pretendió determinar cuál de los extractos presentaba mejor color, olor y sabor, y si alguno de estos mostraba similitud con el té comercial o con las hojas maceradas de menta. De acuerdo con los resultados sobre la aceptabilidad sensorial, se encuentra que el 84,6 % de los encuestados prefirieron el E1 en cuanto a olor, el 50,0 % en cuanto a color y el 65,4 % en cuanto a sabor (figura 3.17 y tabla 3.8). En cuanto a la comparación hedónica de similitud, los panelistas concluyeron que, si bien el extracto tiene las características organolépticas de la menta, no se presenta similitud con el té comercial o el macerado de hojas frescas. Esto podría explicarse por varias razones, entre ellas el lugar y el tipo de material recolectado, la forma de secado en marquesina y también el método de obtención del extracto.



Figura 3.17. Perfil sensorial de las características evaluadas de los ingredientes de hierbabuena.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8. Porcentajes de aceptación de cada extracto evaluado

	Olor % preferencia	Color % preferencia	Sabor % preferencia
Extracto 1	84,6	50,0	65,4
Extracto 2	3,8	23,1	3,8
Extracto 3	11,5	15,4	15,4
Extracto 4	0,0	11,5	15,4

Fuente: Elaboración propia

El primer paso para la obtención del ingrediente hidroalcohólico con fin alimentario fue la caracterización y definición de los extractos líquidos. Cuatro extractos fueron propuestos y realizados con el mismo solvente de extracción, pero con diferentes cantidades de material vegetal y pasta. Según las pruebas descriptivas cualitativas y cuantitativas, el extracto que presentó mayor contenido de ácido rosmarínico, CPT y carvona fue E1. Los resultados muestran que, cuando se usa material completamente seco, hay mayor concentración de los compuestos, los cuales son los responsables del olor y el sabor, lo que se evidencia en las pruebas organolépticas. Es probable que este comportamiento se dé al secarse el material vegetal y concentrar los compuestos, toda vez que, cuando se usa material fresco, se incrementa el contenido de agua. La menta presenta alrededor de un 80 % de humedad y ello permite la dilución de los compuestos.

Combinando toda la información obtenida, se postula el extracto 1 (E1) como ingrediente natural proveniente de los residuos de comercializadora de menta, con su potencial uso en las industrias de bebidas alimentarias.

Conclusiones

La caracterización química de muestras de menta (residuos y material de exportación) permite determinar el potencial de la especie para el desarrollo de un ingrediente natural de interés en la industria alimentaria, específicamente para la elaboración de bebidas. De esta forma, se pueden aprovechar conjuntamente las propiedades funcionales y las características organolépticas de la planta. Con el análisis químico se determinaron los compuestos tipo ácidos fenólicos, flavonoides y compuestos terpénicos en muestras de menta cultivadas en el Oriente antioqueño.

El estudio químico por HPLC/DAD demostró que el ácido rosmarínico es el mayor constituyente fenólico de la especie *M. spicata*, lo cual se comprobó con HPLC/MS. A su vez, se determinó que la carvona es el mayor constituyente terpénico de la especie, analizado por GC/MS.

Se identificó una relevancia significativa en los ambientes de cultivo de menta, observando una mayor cantidad de metabolitos en las muestras cultivadas en campo abierto con respecto a aquellas cultivadas bajo invernadero. A su vez, se encontró que no había diferencias significativas entre el material de exportación y las muestras de los residuos generados en campo y en las comercializadoras. Sin embargo, debido a los procesos de separación adicional que requieren los residuos de campo, se proponen los residuos de comercializadora como el material para el desarrollo de ingredientes naturales.

Mediante el planteamiento de diseños de experimentos, se logró estandarizar un proceso de extracción a través de un equipo de ultrasonido de alta intensidad, en procura de maximizar la extracción de los compuestos de interés presentes en la menta, minimizando el uso de tecnologías convencionales que generan grandes gastos energéticos y que son altamente contaminantes. De esta forma, se establecen las condiciones de amplitud ultrasónica de 90 %, tiempo de 5 minutos y una carga del 7 % de material vegetal para la extracción de los compuestos de interés.

En vista de las potencialidades químicas y funcionales reportadas previamente en la menta, se establece el punto de partida para el desarrollo de productos de valor. Se obtuvo un prototipo de ingrediente natural con aplicación en la industria alimentaria que contiene las propiedades benéficas de los compuestos fenólicos de la especie y conserva las características organolépticas por sus compuestos terpénicos. La investigación química de ingredientes naturales permite generar un valor agregado en las plantas aromáticas y medicinales, lo cual contribuye al aprovechamiento de la materia prima y, en especial, al uso de residuos generados en esta agroindustria, disminuyendo por ende las fuentes de contaminación.

Referencias

Abootalebian, M., Keramat, J., Kadivar, M., Ahmadi, F., & Abdinian, M. (2016). Comparison of total phenolic and antioxidant activity of different *Mentha spicata* and *M. longifolia* accessions. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), 175-179. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2016.10.002>

Bonilla, C. R., & Guerrero, M. R. (2010). *Menta (Mentha spp.)*. *Producción y manejo poscosecha*. Cámara de Comercio de Bogotá, Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12923>

- Brahmi, F., Hauchard, D., Guendouze, N., Madani, K., Kiendrebeogo, M., Kamagaju, L., Stévigny, C., Chibane, M., & Duez, P. (2015). Phenolic composition, *in vitro* antioxidant effects and tyrosinase inhibitory activity of three Algerian *Mentha* species: *M. spicata* (L.), *M. pulegium* (L.) and *M. rotundifolia* (L.) Huds (Lamiaceae). *Industrial Crops and Products*, 74, 722-730. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.038>
- Brown, N., John, J. A., & Shahidi, F. (2019). Polyphenol composition and antioxidant potential of mint leaves. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s43014-019-0001-8>
- Cheyrier, V., Comte, G., Davies, K. M., Lattanzio, V., & Martens, S. (2013). Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*, 72, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.009>
- Chrysargyris, A., Xylia, P., Botsaris, G., & Tzortzakis, N. (2017). Antioxidant and antibacterial activities, mineral and essential oil composition of spearmint (*Mentha spicata* L.) affected by the potassium levels. *Industrial Crops and Products*, 103, 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.010>
- Cirlini, M., Mena, P., Tassotti, M., Herrlinger, K. A., Nieman, K. M., Dall'Asta, C., & Del Rio, D. (2016). Phenolic and volatile composition of a dry spearmint (*Mentha spicata* L.) extract. *Molecules*, 21(8), 1-15. <https://doi.org/10.3390/molecules21081007>
- Del Valle, G., González-León, A., Sotelo-Mundo, R. R., Islas-Osuna, M. A., Bringas-Taddei, E., García-Robles, J. M., Varvallo, T., & Báez, R. (2008). Efecto del sombreado de racimos sobre color y calidad en uvas rojas para mesa (*Vitis vinifera* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(1), 7-17. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/31-1/2a.pdf>
- Edris, A. E., Shalaby, A. S., Fadel, H. M., & Abdel-Wahab, M. A. (2003). Evaluation of a chemotype of spearmint (*Mentha spicata* L.) grown in Siwa Oasis, Egypt. *European Food Research and Technology*, 218(1), 74-78. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0802-4>
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos [Invima]. (2018). *Listado de plantas medicinales aceptadas con fines terapéuticos*. <https://bit.ly/3p55eMO>
- Kedia, A., Prakash, B., Mishra, P. K., Chanotiya, C. S., & Dubey, N. K. (2014). Antifungal, antiaflatoxigenic, and insecticidal efficacy of spearmint (*Mentha spicata* L.) essential oil. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 89, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.10.027>
- Li, Z., Smith, K. H., & Stevens, G. W. (2016). The use of environmentally sustainable bio-derived solvents in solvent extraction applications—A review. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24(2), 215-220. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2015.07.021>
- Mansoori, S., Bahmanyar, H., Jafari Ozumchelouei, E., & Najafipour, I. (2020). Investigation and optimisation of the extraction of carvone and limonene from the Iranian *Mentha spicata* through the ultrasound-assisted extraction method. *Indian Chemical Engineer*, 64(2), 141-150. <https://doi.org/10.1080/00194506.2020.1831407>

- Narasimhamoorthy, B., Zhao, L. Q., Liu, X., Yang, W., & Greaves, J. A. (2015). Differences in the chemotype of two native spearmint clonal lines selected for rosmarinic acid accumulation in comparison to commercially grown native spearmint. *Industrial Crops and Products*, 63, 87-91. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.10.044>
- Orellana, A. C. (2017). *Caracterización del aceite esencial de hierbabuena (Mentha spicata L.) obtenido por el método de arrastre con vapor* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Callao, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3612>
- Osorio, J. (2021). *Informe exportaciones de hierbas aromáticas*. Analdex. <https://www.analdex.org/2021/10/20/informe-exportaciones-de-hierbas-aromaticas/>
- Özer, Z. (2018). Investigation of phenolic compounds and antioxidant activity of *Mentha spicata* subsp. *spicata* and *M. longifolia* subsp. *typhoides* (Briq.) Harley decoction and infusion. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 5(2), 445-456. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.350089>
- Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R. E., & Álvarez-Bravo, A. (2017). Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate 'Hass'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2565-2575. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i13.483>
- Sandilya, D. K., & Kannan, A. (2010). Effect of ultrasound on the solubility limit of a sparingly soluble solid. *Ultrasonics Sonochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.10.005>
- Snoussi, M., Noumi, E., Trabelsi, N., Flamini, G., Papetti, A., & De Feo, V. (2015). *Mentha spicata* essential oil: Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities against planktonic and biofilm cultures of vibrio spp. strains. *Molecules*, 20(8), 14402-14424. <https://doi.org/10.3390/molecules200814402>
- Sumarni, N. K., Hasanuddi, A., Nuryanti, S., & Hutumo, G. S. (2020). Isolation and characterization of terpenoid compounds ethanol extract on young coconut coir (*Cocos nucifera* L.). *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(2), 5622-5625. <http://www.ijstr.org/final-print/feb2020/Isolation-And-Characterization-Of-Terpenoid-Compounds-Ethanol-Extract-On-Young-Coconut-Coir-cocos-Nucifera-L.pdf>
- Tuladhar, P., Sasidharan, S., & Saudagar, P. (2021). Role of phenols and polyphenols in plant defense response to biotic and abiotic stresses. *Biocontrol Agents and Secondary Metabolites*, 419-441.
- Zhao, D., Xu, Y. W., Yang, G. L., Husaini, A. M., & Wu, W. (2013). Variation of essential oil of *Mentha haplocalyx* Briq. and *Mentha spicata* L. from China. *Industrial Crops and Products*, 42(1), 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.010>
- Zheljazkov, V. D., Cantrell, C. L., Astatkie, T., & Hristov, A. (2010). Yield, content, and composition of peppermint and spearmints as a function of harvesting time and drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(21), 11400-11407. <https://doi.org/10.1021/jf1022077>

Los autores

Germán Franco

gfranco@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0281-8135>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Caldas, especialista en Poscosecha de Vegetales Perecederos de la Universidad del Quindío y doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, con énfasis en Fisiología Poscosecha. Ha trabajado en investigación en sistemas de producción de frutales y hortalizas. Actualmente es investigador PhD asociado en AGROSAVIA en la Red de Hortalizas y Plantas Aromáticas.

Édison Javier Osorio Durango

edison.osorio@udea.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9821-3420>

Químico farmacéutico y magíster de la Universidad de Antioquia, y doctor en Farmacia de la Universidad de Barcelona (España). Actualmente es profesor titular e investigador de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias de la Universidad de Antioquia. Sus áreas de experticia están relacionadas con el análisis químico y metabólico de productos naturales y matrices biológicas, la funcionalidad de sustancias bioactivas y nutrientes, así como con el desarrollo de sustancias valorizadas para la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y el sector agroindustrial. Cuenta con 20 años de experiencia como docente e investigador, más de 60 publicaciones escritas en revistas internacionales indexadas y más de 10 tesis de maestría y doctorado dirigidas.

Karina Andrea Sierra Henao

karina.sierra@udea.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3696-6638>

Química farmacéutica de la Universidad de Antioquia y MSc en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias con énfasis en Productos Naturales. Ha trabajado por cinco años en el Grupo de Investigación en Sustancias Bioactivas de la Universidad de Antioquia. Actualmente trabaja como investigadora en el área de alimentos y productos naturales en el laboratorio de servicios tecnológicos Sennova-SENA.

Andrés Javier Cortés Vera

acortes@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4178-0675>

Genetista vegetal (PhD) de la Universidad de Uppsala (Suecia) y biólogo (BSc Honores, MSc) de la Universidad de los Andes (Colombia). Actualmente es investigador asociado en AGROSAVIA y se concentra en explorar diversidad genética y adaptación al estrés abiótico en colecciones diversas de germoplasma.

Luis Felipe López Hernández

llopez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4967-6955>

Ingeniero biológico de la Universidad Nacional de Colombia y estudiante de la Maestría en Biociencias (MSc) de la Universidad EAFIT. Actualmente es profesional de apoyo a la investigación en AGROSAVIA y se concentra en explorar enfoques de biología computacional, bioinformática y ciencia de datos en plantas.

Dagoberto Castro Restrepo

dcastroinvestigacion@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6599-9332>

Ingeniero agrónomo y PhD en Ciencias Agropecuarias con énfasis en Biotecnología Vegetal. Actualmente es director de Investigación, Desarrollo e Innovación en la Universidad Católica de Oriente e investigador de la Unidad de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Bertha Miryam Gaviria Gutiérrez

sanidadveg.inv2@uco.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3329-2578>

Administradora de empresas agropecuarias y PhD en Ciencias Agrícolas con énfasis en Hematología. Actualmente es docente de la Universidad Católica de Oriente y pertenece al Grupo de Investigación en Sanidad Vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

José Antonio Rubiano Rodríguez

jrubiano@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2145-4162>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, magíster en Ciencias en Protección de Cultivos de la Universidad de Puerto Rico (recinto de Mayagüez) y doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca en Chile. Ha sido docente en la Universidad de Puerto Rico (recinto de Utuado) y en la Universidad del Pacífico en Buenaventura. Es investigador de AGROSAVIA y tiene una experiencia de más de veinte años en manejo integrado de plagas agrícolas.

Juan Camilo Henao Rojas

jhenao@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0007-6809>

Ingeniero de alimentos y magíster en Ingeniería de Alimentos con énfasis en Biotecnología de la Universidad de Caldas. Líneas de investigación en ingeniería bioquímica, biotecnología, analítica de datos, cosecha, poscosecha y generación de valor agregado basado en la biodiversidad del trópico andino. Actualmente es investigador asociado a la Red de Hortalizas y Plantas Aromáticas de AGROSAVIA, donde lidera proyectos relacionados con el análisis bioquímico, físico y fisicoquímico de potenciales materias primas y la generación de productos naturales y bioinspirados a partir de hortalizas y frutales tropicales.

Luz Mary Quintero Vásquez

lquintero@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5823-7719>

Ingeniera de alimentos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Se desempeña como profesional de investigación en AGROSAVIA, donde desarrolla proyectos en cosecha, poscosecha y agroindustria, y pertenece a la Red de Hortalizas y Plantas Aromáticas. Es miembro activo de la Cadena de Aromáticas de Antioquia.

Álvaro de Jesús Tamayo Vélez

atamayo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2765-742X>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, magíster en Suelos de la Universidad de Puerto Rico y doctor en Ciencias Agrarias en la línea de investigación de Fertilidad de Suelos y Microbiología de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Es investigador PhD asociado en AGROSAVIA, donde recibió mención honorífica por el mejor trabajo de investigación y desarrollo tecnológico Corpoica, así como otras distinciones por el Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Tiene experiencia en el manejo de conservación de suelos y nutrición vegetal en especies de importancia económica en el trópico, en el manejo integrado de cultivos frutales, cultivos de seguridad alimentaria y cultivos industriales.

Carolina Ortiz Muñoz

cortizm@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5239-6137>

Ingeniera agrónoma del Instituto Universitario de La Paz. Ha trabajado en proyectos de investigación y atención a productores y manejo técnico de cultivos como cacao y café, así como en plagas y enfermedades en palmáceas y cacao. Actualmente trabaja en proyectos de investigación de hortalizas y aromáticas en AGROSAVIA.

María Orfilia Vargas Arcila

mvargasa@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0938-9097>

Agrónoma de la Universidad Católica de Oriente. Ha trabajado en caracterización morfológica y química de germoplasma vegetal y conservación de germoplasma. Actualmente es profesional de apoyo a la investigación en AGROSAVIA y pertenece al Grupo de Mejoramiento Genético Vegetal, Uso y Aprovechamiento de la Agrobiodiversidad.

Carolina Zuluaga Mejía

czuluaga@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3890-0701>

Ingeniera agrícola de la Universidad Nacional y especialista en Gerencia de Proyectos de la Universidad EAFIT. Posee experiencia en estudios agroeconómicos y socioeconómicos de comunidades beneficiarias de distritos de riego, análisis de costos de producción en mora, tomate, plátano y maíz, entre otros. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en el área de suelos y aguas de AGROSAVIA y apoya la formulación y ejecución de proyectos de hortalizas como cebolla de rama y zanahoria.

Luis Eladio Castro Tabares

lecastro@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7363-2381>

Agrónomo y estudiante MSC en Sanidad Vegetal en la Universidad Católica de Oriente. Es consultor particular en manejo de plantas aromáticas.

Diana Yurladi Vanegas A.

sanidadvegetal@uco.edu.co

Estudiante de Agronomía en la Universidad Católica de Oriente, donde colabora en el Laboratorio de Sanidad Vegetal.

María Isabel Domínguez Rave

maria.16.rave@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3949-3263>

Ingeniera ambiental y estudiante del Doctorado en Biotecnología de la Universidad Católica de Oriente, donde colabora en la Unidad de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ingeniería.

Jesús Jaiber Díaz García

jdiaz@uco.edu.co

Administrador de Empresas Agropecuarias y MSc en Biotecnología. Está asociado a la Unidad de Biotecnología de la Universidad Católica de Oriente.

Karen Lorena Ballestas Álvarez

kballesta@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4580-4120>

Bióloga, estudiante de la Maestría en Ciencias–Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Tiene experiencia en líneas de investigación asociadas a microbiología agrícola, biocontrol de fitopatógenos e insectos, diversidad de insectos y biofertilización. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación y está afiliada a la Red de Hortalizas y Plantas Aromáticas de AGROSAVIA.

Inés Amelia Madroño Solarte

imadronero@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2182-7280>

Ingeniera agroindustrial de la Universidad Nacional de Colombia. Posee experiencia en líneas de investigación en ingeniería agroindustrial, poscosecha, análisis sensorial, vida útil y generación de valor agregado. Actualmente es profesional de apoyo a la investigación en la Red de Frutales de AGROSAVIA, donde apoya proyectos relacionados con el análisis fisicoquímico, sensorial, vida útil y prototipado de productos de potenciales materias primas de importancia en la región.

La menta tiene una larga historia de uso medicinal y se utiliza principalmente como especia aromática en los alimentos, pues sus hojas se aprecian principalmente por su aroma fresco y mentolado, el cual le ha hecho atribuible su adopción por parte de empresas cosméticas y alimentarias en todo el mundo. Aunque tiene un potencial muy interesante para la dinamización de agroindustrias locales, actualmente el sistema productivo de menta y su cadena de valor se encuentran sin tecnificación, lo que se traduce en barreras para el crecimiento de empresas alimentarias, farmacéuticas y cosméticas que requieren importar casi la totalidad de las materias primas utilizadas a partir de esta planta medicinal. Este libro pone a disposición de técnicos, productores y empresarios la sistematización de adelantos científicos para contribuir al cierre de brechas tecnológicas en la producción primaria, aprovechamiento y transformación del cultivo de la menta adaptado a las condiciones del territorio antioqueño. Así, se pretende motivar al lector a explorar las potencialidades y virtudes del cultivo y la transformación de *Mentha spicata* como una oportunidad para la generación de riqueza y prosperidad.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co



Distribución gratuita
Prohibida su venta