

## ARTÍCULO

# CONTROL NATURAL DE *CLAVIBACTER MICHIGANENSIS* SUBSP. *MICHIGANENSIS* MEDIANTE EL USO DE ACEITES ESENCIALES DE LAVANDA Y ALBAHACA

*Natural control of Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis by the use of lavender and basil essential oils*

Moglia, H. S.<sup>1</sup> , Galdeano, E.<sup>1,2</sup>  y Prieto, M. C.\*<sup>3</sup> 

**RESUMEN:** El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las tres hortalizas más consumidas en el mundo. Este cultivo es afectado a nivel mundial por una enfermedad conocida como cancro bacteriano del tomate, producida por la bacteria fitopatógena *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (*Cmm*). En busca de estrategias de control eficaces y ambientalmente sostenibles, este trabajo tiene por objetivo estudiar el efecto de los aceites esenciales (AEs) de lavanda (*Lavandula angustifolia* Miller) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.), y de sus mezclas binarias, sobre el crecimiento y viabilidad de *Cmm* bajo condiciones *in vitro*. Los AEs fueron caracterizados químicamente por medio de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas. La actividad antibacteriana de los AEs se evaluó por medio de la técnica de microdilución en caldo para determinar la concentración inhibitoria mínima (CIM), y luego se determinó la concentración bactericida mínima (CBM). El AE de lavanda resultó compuesto principalmente por linalol, alcanfor y eucaliptol, mientras que el de

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto de Botánica del Nordeste (CONICET-UNNE), Corrientes, Argentina.

<sup>3</sup> Departamento de Agroalimentos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

\* Autor de correspondencia. María Cecilia Prieto. E-mail: prietomc@agro.unc.edu.ar.

Como citar este artículo: Moglia, H. S., Galdeano, E. y Prieto, M. C. (2025). Control natural de *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* mediante el uso de aceites esenciales de lavanda y albahaca. Revista FACENA 35(1), xx-xx. Doi: <https://doi.org/10.30972/fac.3518363>

Recibido/Received: 31/12/2024. Revisión: 09/04/2024. Aceptado/Accepted: 18/06/2025.

Editor asociado: María Guadalupe Cháves.

Publicado en línea: 08/09/2025. ISSN 1851-507X en línea.

albahaca resultó principalmente constituido por linalol, estragol y eucaliptol. Ambos AEs y sus combinaciones (en proporciones 1:2 y 2:1), tuvieron tanto actividad bacteriostática como bactericida contra *Cmm*, con valores de CIM y CBM iguales a 20 ml/l. Los resultados obtenidos permiten concluir que ambos AEs y sus combinaciones funcionan como antibacterianos efectivos contra *Cmm*, constituyendo herramientas promisorias para el control del cancro bacteriano del tomate.

**PALABRAS CLAVE:** Bacterias fitopatógenas, Cancro bacteriano del tomate, Productos naturales.

**ABSTRACT:** Tomato (*Solanum lycopersicum L.*), one the three most widely consumed vegetables worldwide, is affected by a disease called bacterial canker, caused by the phytopathogenic bacterium *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (*Cmm*). In search of efficient and sustainable control strategies, the goal of this work was to evaluate the effect of lavender (*Lavandula angustifolia Miller*) and basil (*Ocimum basilicum L.*) essential oils (EOs) and their binary mixtures against the phytopathogenic bacterium *Cmm*. EOs were characterized by gas chromatography coupled with mass spectrometry. Antibacterial activity was first evaluated using the broth microdilution technique to obtain the minimum inhibitory concentration (MIC), and then the minimum bactericidal concentration (MBC) was also determined. Lavender EO was mainly composed by linalool, camphor, and eucalyptol, while basil EO by linalool, estragole and eucalyptol. Both EOs and their binary mixtures (rate 1:2 and 2:1), showed bacteriostatic and bactericidal activity against *Cmm*, where MIC and MBC values were 20 ml/l in all cases. These results demonstrated the effectiveness of both EOs and their mixtures against *Cmm*, highlighting their potential as promissory tools to control the bacterial canker of tomato.

**KEYWORD:** Phytopathogenic bacteria, Bacterial Canker of tomato, Natural products.

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una de las tres hortalizas más demandadas en el mundo, en conjunto con la papa y la cebolla, habiendo

registrando una producción de 192 millones de toneladas en 2023, de las cuales Argentina produjo 1.430.000 toneladas (FAO, 2023). La Provincia de Corrientes, así como las provincias del NOA, contribuye a esta producción cultivando a contrasteación con respecto al resto del país, abasteciendo con tomate para consumo en fresco durante los meses estivales (Scarpatti, 2020).

El cultivo de tomate es afectado por diferentes enfermedades, causadas por hongos, virus o bacterias. Entre las enfermedades bacterianas de mayor importancia a nivel mundial, se encuentra el cancro bacteriano del tomate, una enfermedad vascular producida por la bacteria Gram positiva *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (*Cmm*), que causa grandes pérdidas económicas al generar cancros en los frutos alterando su calidad, y marchitez en las plantas, lo que afecta el rendimiento del cultivo (Sen *et al.*, 2015). Esta bacteriosis es transmitida a través de semillas infectadas, material vegetal o equipamiento contaminado, y se dispersa naturalmente por aerosoles y salpicaduras de agua, ingresando posteriormente a los tejidos por medio de heridas o aperturas naturales tales como estomas, tricomas e hidatodos (Barboa Flores *et al.*, 2009; Martínez-Castro *et al.*, 2018; Sen *et al.*, 2015). Las estrategias de control de la enfermedad incluyen prácticas culturales, que son aplicadas como método de exclusión, y el uso de compuestos antimicrobianos como sales de cobre y antibióticos, los cuales no ejercen un control satisfactorio del patógeno y pueden producir efectos adversos (Sen *et al.*, 2015). Otros métodos de control como el uso de control biológico e inducción a respuesta sistémica mediante el uso de elicidores, se encuentran actualmente en experimentación y, por el momento, no se cuenta con cultivares tolerantes a la enfermedad (Sen *et al.*, 2015; Barboa-Flores *et al.*, 2010). Dentro de los productos naturales, se destacan los aceites esenciales (AEs), sustancias oleosas constituidas por mezclas complejas de terpenos y fenilpropanoides (Zygadlo *et al.*, 2017), que se obtienen a partir de diferentes órganos de plantas aromáticas y que han sido recientemente reconocidos por su potencial como controladores naturales de microorganismos fitopatógenos (Camiletti *et al.*, 2014; Carezzano *et al.*, 2017; Prieto *et al.*, 2020; Prieto *et al.*, 2024; Sotelo *et al.*, 2021).

Los AEs pueden mostrar diferentes grados de bioactividad, y estas variaciones pueden deberse tanto a la composición química particular de cada AE, a sus interacciones, y al microorganismo al que se lo esté enfrentando (Zygadlo *et al.*, 2017). Adicionalmente, se conoce que las interacciones entre las moléculas constituyentes de los AEs pueden mostrar efectos sinérgicos, aditivos o antagónicos (Zygadlo *et al.*, 2017), alterando la bioactividad de los AEs cuando son utilizados en mezclas binarias (Prieto *et al.*, 2024).

En este contexto, el presente trabajo tiene por objetivo estudiar el efecto de los aceites esenciales de lavanda (*Lavandula angustifolia* Miller) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.) aplicados de manera individual y en diferentes combinaciones, sobre el crecimiento y viabilidad de la bacteria fitopatógena *Cmm*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Materiales*

Los AEs de lavanda (*Lavandula angustifolia* Miller) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.), fueron obtenidos por un productor de la localidad de Merlo (San Luis). El AE de *L. angustifolia* fue obtenido a partir de inflorescencias, mientras que el AE de *O. basilicum* se obtuvo a partir de hojas, flores y tallos. Ambos AEs fueron extraídos por medio de hidrodestilación. La cepa de *Cmm* utilizada para el estudio fue provista por la Dra. Ana María Romero (Facultad de Agronomía, UBA).

### *Caracterización química de los aceites esenciales*

La composición química de los AEs fue estudiada utilizando un cromatógrafo gaseoso con detector de ionización de llama (FID), acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS, PerkinElmer Clarus 600; Waltham, MA, USA), equipado con una columna capilar DB-5 (LabTA, FCA-UNC). Para el análisis de la composición, se utilizó helio como gas carrier (flujo: 0,9 mL/min). La identificación de los compuestos constituyentes se realizó utilizando la librería NIST (2.0) y datos previamente publicados con el fin de determinar la composición química relativa de cada AE.

### *Determinación de la actividad antibacteriana*

La actividad antibacteriana fue evaluada inicialmente por medio de la técnica microdilución en caldo siguiendo a Prieto *et al.* (2020), utilizando tanto los aceites puros como sus combinaciones (2:1 v/v y 1:2 v/v), a fin de determinar la actividad bacteriostática de dichos compuestos, definida como concentración inhibitoria mínima (CIM).

### *Preparación del inóculo bacteriano*

Se inocularon 30 ml de caldo tripteína soya (TSB) con una ansada de *Cmm* de 72 h de crecimiento en agar tripéptína soya (TSA). El cultivo se incubó en agitación durante 48 h a 28°C, y luego se utilizó para realizar diluciones seriadas (factor 1/10). Luego se trasvasó 170 µl de cada dilución a un tubo Eppendorf, para finalmente agregarle 10 µl de solución de sal sódica de resazurina (0,01%), compuesto que vira de color de azul a rosado cuando la concentración de inóculo es ~10<sup>6</sup> UFC/ml. Los tubos se incubaron a 28°C durante 2 h y luego se realizó la lectura. La concentración de inóculo apropiada fue la menor dilución incapaz de virar el color del indicador redox (~10<sup>5</sup> UFC/ml).

### *Determinación de la CIM*

El ensayo constó de los tratamientos (Tabla 2), un control de viabilidad negativo (TSB) y uno positivo (inóculo bacteriano). Los tratamientos consistieron en enfrentar el inóculo bacteriano a diferentes diluciones de cada AE y de sus combinaciones. Para ello, se realizaron 8 diluciones seriadas de los AEs de *O. basilicum* (OB), *L. angustifolia* (LA) y sus mezclas binarias en proporciones 1:2 v/v y 2:1 v/v. La primera dilución se realizó en dimetil sulfóxido (DMSO), a fin de favorecer la solubilidad de los AEs, utilizando una relación AE/mezcla: DMSO igual a 2:3. Las diluciones subsiguientes se realizaron en un factor 1/2 en medio TSB. La actividad antibacteriana de cada dilución se evaluó enfrentando 20 µl de la misma a 170 µl de inóculo bacteriano, dejando incubar durante 22 h, a 28°C. Luego de la incubación, se agregó 10 µl de solución de resazurina y se incubó durante 2 h más. La CIM fue determinada como la mínima concentración que se mantuvo de color azul, ya que el indicador redox resazurina se mantiene de color azul en su estado reducido

y vira al color rosa en su estado oxidado. El cambio de color de azul a rosa se interpreta como el crecimiento del inóculo bacteriano en un logaritmo, pasando de  $\sim 10^5$  UFC/ml a  $\sim 10^6$  UFC/ml.

#### **Determinación de la concentración bactericida mínima (CBM)**

Las suspensiones de los tubos que permanecieron azules luego de la incubación, fueron repicados en placas de petri con medio TSA, aplicando 5  $\mu\text{l}$  del contenido del tubo sobre el medio, a fin de determinar la CBM. Luego de la siembra, las placas fueron incubadas durante 48 h, a 28°C, para finalmente determinar la CBM como la mínima concentración a la que se inhibió el crecimiento del 99,9% del inóculo, en donde no se observa crecimiento visible. Los ensayos se realizaron utilizando dos réplicas y tres repeticiones.

#### **Análisis estadísticos**

Los resultados obtenidos fueron analizados utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2018). Para ello se analizó la normalidad de cada población de datos utilizando el test de Shapiro-Wilk, para luego ser analizados con el test Kruskal-Wallis para datos no paramétricos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **Composición química de los AEs**

En la Tabla 1 se observan los resultados de la composición química de LA y OB, obtenidos mediante cromatografía gaseosa acoplada con espectrometría de masas. El AE de LA resultó principalmente compuesto por linalol (39%), alcanfor (15%) y eucaliptol (13%), presentando compuestos como borneol, linalil acetato y 4-terpineol en menores proporciones. Estos resultados coinciden con los hallados por Walasek - Janusz *et al.* (2022), quienes encontraron una composición química similar de los AE obtenidos a partir de diferentes variedades de LA, en donde las proporciones relativas de linalol variaron entre 15,10 y 29,56%, entre 0,56 y 9,57% para el alcanfor, de 0,98 a 9,10% para el eucaliptol, de 1,79 a 18,08% para el 4-terpineol, 0,71 a 4,58% para el borneol, y 16,87 a 34,22% para el linalil.

acetato. El AE de OB resultó principalmente compuesto por linalol (55%), estragol (10%) y eucaliptol (7%), seguido por  $\alpha$ -Bergamoteno, eugenol y  $\beta$ -Bourboneno, presentes en menores proporciones. Abdoul-Latif *et al.*, (2022) reportaron resultados similares para el AE de OB, en donde los compuestos mayoritarios fueron al linalol (41,2%), estragol (30,1%) y  $\alpha$ -Bergamoteno (7,5%). Las similitudes encontradas entre composición relativa de ambos AEs en estudio, en relación con los reportados previamente en la bibliografía dan un indicio de la calidad de los aceites obtenidos. Las variaciones observadas en las proporciones de algunos compuestos podrían deberse a diferencias basadas en las condiciones de cultivo de las plantas aromáticas y en el estadío fenológico al momento de la cosecha, entre otros factores (Lakušić *et al.*, 2014; Zygadlo *et al.*, 2017)

**Tabla 1.** Abundancia relativa de los componentes de los AEs de *Lavandula angustifolia* (LA), y *Ocimum basilicum* (OB), analizados mediante GC - MS.

Compuesto	Tiempo de retención (minutos)	LA (%)	OB (%)
Eucaliptol	7.80	13	7
Linalol	8.16	39	57
Alcanfor	9.34	15	-
Borneol	9.97	6	-
4-Terpineol	10.18	5	-
Estragol	10.61	-	10
Linalil acetato	11.90	5	-
Acetato de $\beta$ -Terpenilo	12.76	1	-
Eugenol	14.59	-	3
$\beta$ -Bourboneno	15.37	-	3
$\beta$ -Elemeno	15.51	-	1
$\beta$ -Cariofileno	16.27	1	-
$\alpha$ -Bergamoteno	16.58	-	4
$\alpha$ -Guaieno	16.64	-	1
$\beta$ -Farneseno	17.04	4	-
Germacreno D	17.76	-	1
$\gamma$ -Muroleno	18.53	-	2

### Determinación de la actividad antibacteriana

En la Tabla 2 se encuentran los resultados de la CIM y la CBM obtenidas para los AEs y sus combinaciones al enfrentarlos contra *Cmm*.

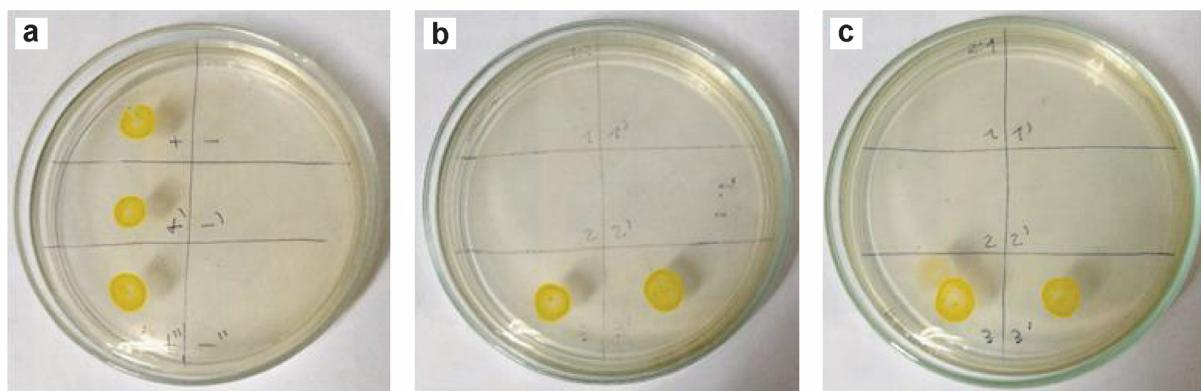
**Tabla 2.** Concentración inhibitoria mínima (CIM) y concentración bactericida mínima (CBM) de AEs de *Lavandula angustifolia* (LA), *Ocimum basilicum* (OB) y sus combinaciones sobre *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*.

LA	40 ml/l	20 ml/l	10 ml/l	5 ml/l	2,5 ml/l	1,3 ml/l	0,6 ml/l	0,3 ml/l	C -	C +
CIM	Azul	Azul	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Azul	Rosa
CBM	-	-	+	ND	ND	ND	ND	ND	-	+
OB	40 ml/l	20 ml/l	10 ml/l	5 ml/l	2,5 ml/l	1,3 ml/l	0,6 ml/l	0,3 ml/l	C -	C +
CIM	Azul	Azul	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Azul	Rosa
CBM	-	-	+	ND	ND	ND	ND	ND	-	+
Mezcla OB:LA (1:2)	40 ml/l	20 ml/l	10 ml/l	5 ml/l	2,5 ml/l	1,3 ml/l	0,6 ml/l	0,3 ml/l	C -	C +
CIM	Azul	Azul	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Azul	Rosa
CBM	-	-	+	ND	ND	ND	ND	ND	-	+
Mezcla OB:LA (2:1)	40 ml/l	20 ml/l	10 ml/l	5 ml/l	2,5 ml/l	1,3 ml/l	0,6 ml/l	0,3 ml/l	C -	C +
CIM	Azul	Azul	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Azul	Rosa
CBM	-	-	+	ND	ND	ND	ND	ND	-	+

ND= No determinado

En todos los tratamientos fue posible determinar la CIM, indicando que tanto los aceites individuales como sus combinaciones presentan actividad bacteriostática. De la misma forma, la determinación de la CBM, parámetro relacionado con la actividad bactericida de los compuestos, pudo determinarse tanto para las combinaciones de AEs (Figura 1) como para los AEs individuales. En trabajos previos, los AEs de LA y de OB han sido reconocidos como antibacterianos efectivos contra una amplia variedad de bacterias Gram-positivas y Gram-negativas (Gismondi *et al.*, 2021; Karaca *et al.*, 2021; Kačániová *et al.*, 2022;

Walasek - Janusz *et al.*, 2022), siendo el presente trabajo el primero que reporta la actividad antibacteriana de mezclas binarias de LA y OB contra *Cmm*.



**Fig. 1.** Determinación de la concentración bactericida mínima (CBM). En a) se observan los controles positivos (izquierda) y negativos (derecha) para *Cmm*, en b) se observan las diferentes concentraciones de la combinación OB:LA (1:2), (de arriba hacia abajo: 40ml/l, 20 ml/l, 10 ml/l), y en c) las diferentes concentraciones correspondientes al tratamiento OB:LA (2:1), (de arriba hacia abajo: 40ml/l, 20 ml/l, 10 ml/l). En b y c se observa la CBM en la concentración 20 ml/l.

En el presente trabajo, para todos los tratamientos tanto la CIM como la CBM coincidieron en un valor de 20 ml/l, no encontrándose diferencias significativas entre los AEs individuales ni sus combinaciones. Estas cantidades corresponden a 17,6 g/l para la CIM y CBM de LA, y 18,8 g/l para la CIM y CBM de OB. Estas similitudes podrían relacionarse con la composición química similar encontrada en ambos AEs, ya que en ambos casos los compuestos mayoritarios resultaron linalol y eucaliptol, difiriendo sólo en uno de sus principales compuestos: alcanfor en LA y estragol en OB, los cuales han sido descriptos como antibacterianos moderados en trabajos previos (Bagamboula *et al.*, 2004; Jirovetz *et al.*, 2005).

En cuanto a los valores de CIM y CBM obtenidos, resultaron similares a los reportados contra un amplio rango de bacterias. Tal es el caso reportado por Walasek - Janusz *et al.* (2022) quienes encontraron valores de CIM y CBM para el AE de LA, cuyo rango fue de 2,5 a 20 g/l, mostrando valores de 20 g/l principalmente contra bacterias Gram-positivas, mientras que para OB se han reportado valores de 2,05 g/l de AE como CIM contra *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* (Batista *et al.*, 2023). Por otro lado, Orzali *et al.*, (2020) reportaron valores menores de CIM (1,265 ml/l) y de CBM (>1,6 ml/l) al enfrentar el AE de OB

contra *Cmm*, en comparación a las encontradas en la presente contribución. Estas diferencias podrían deberse a una variación en la susceptibilidad entre las cepas de *Cmm* utilizadas en ambos trabajos, y a posibles variaciones en la composición química del AE de OB, lo que podría generar variaciones en el grado de bioactividad de estos aceites. La falta de efecto sinérgico observada en ambas combinaciones de AEs podría deberse a la composición química similar de los AEs empleados, por lo que las mezclas no aumentarían de forma significativa la diversidad de compuestos, ejerciendo un efecto similar sobre *Cmm*. Sin embargo, de Rapper *et al.* (2013) reportaron un valor de CIM de 1 g/l para la combinación de OB:LA (1:1) contra *S. aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*, mejorando la actividad antibacteriana de los AEs individuales, a diferencia de lo observado en el presente trabajo. Esto podría también vincularse con diferencias en la susceptibilidad ante los AEs en estudio y sus combinaciones, entre las diferentes especies bacterianas, así como a variaciones en la composición química de los AEs, lo cual podría generar cambios no solo en su bioactividad, sino en las posibles interacciones sinérgicas, aditivas o antagónicas de sus compuestos en cada AE como en las mezclas binarias. Las variaciones en la composición química de los AEs también pueden responder a cambios en el estadio fenológico de la planta, por lo que resulta de interés plantear en futuros ensayos como podrían afectar estos cambios en la bioactividad de LA y OB y de sus combinaciones contra *Cmm*.

En cuanto al posible mecanismo de acción de los terpenos constituyentes de los AEs individuales y de sus mezclas binarias contra *Cmm*, este podría estar relacionado con sus características hidrofóbicas/lipofílicas. Diversos trabajos han establecido que estas características les confieren la habilidad de cruzar la membrana citoplasmática y permeabilizar las diferentes capas de lípidos, provocando reducción en el potencial de membrana, pérdida de iones y de otros contenidos celulares, reducción en la disponibilidad de ATP y el colapso de la bomba de protones, culminando con la muerte celular (Burt, 2004; Falleh *et al.*, 2020).

## **CONCLUSIÓN**

En el presente trabajo, los aceites esenciales de *Lavandula angustifolia* y *Ocimum basilicum*, así como sus mezclas binarias, mostraron propiedades bacteriostáticas y bactericidas frente a la bacteria fitopatógena *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. Esto posiciona a dichos AEs y a sus mezclas binarias como herramientas promisorias para el control sostenible del cancer bacteriano del tomate. Sin embargo, es necesario realizar estudios de aplicación de estos AEs y sus combinaciones para evaluar su efectividad durante la interacción del microorganismo patógeno y la planta, a fin de confirmar su utilidad en el control de la enfermedad.

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Las autoras declaran no poseer conflictos de interés.

## **CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES**

HSM: Investigación, análisis de datos y redacción.

EG: Adquisición de financiamiento, revisión y edición del manuscrito.

MCP: Conceptualización, análisis de datos, adquisición de financiamiento y redacción del manuscrito.

## **AGRADECIMIENTOS**

MCP agradece a la Técnica Anahí Cornejo por brindar información relevante sobre los aceites esenciales obtenidos para esta publicación. Sin duda, su aporte refleja su gran compromiso con el conocimiento de las plantas cultivadas en la región de Traslasierra y también denota su profunda generosidad. Las autoras agradecen las contribuciones de los revisores, las cuales han aportado mejoras significativas al trabajo. MCP agradece el financiamiento otorgado por el Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT),

a través del proyecto PICT-2021-I-INV1-00773.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdoul-Latif, M. F., Elmi, A., Merito, A., Nour, M., Risler, A., Ainane, A., Bignon, J., & Ainane, T. (2022). *Essential oils of Ocimum basilicum L. and Ocimum americanum L. from Djibouti: Chemical composition, antimicrobial and cytotoxicity evaluations*. Processes, 10, 1785. <https://doi.org/10.3390/pr10091785>
- Bagamboula, C. F., Uyttendaele, M., & Debevere, J. (2004). Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, carvacrol, thymol, estragol, linalool and p-cymene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*. *Food Microbiology*, 21(1), 33-42. [https://doi.org/10.1016/S0740-0020\(03\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S0740-0020(03)00046-7)
- Batista, F. L. A., Andrade-Pinheiro, J., dos Santos, A. T., Lima, J. N., Gonçalves Alencar, G., Siqueira, G. M., Pereira da Silva, N. R., Gomes de Carvalho, N. K., Oliveira Brito Pereira Martins, A., da Costa R. H., Bezerra Rodrigues, L., Douglas M. Coutinho, H., Martins da Costa, J. G., Magalhaes, F. E., & Alencar de Menezes, I. R. (2023). Comparative antimicrobial potential of *Ocimum basilicum* essential oil, estragole and estragole/β-cyclodextrin complex in an infection model on adult zebrafish. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 6, 100385.
- Borboa-Flores, J., Rueda Puente, E. O., Acedo Félix, E., Ponce, J. F., Cruz, M., Grimaldo Juárez, O., & García Ortega, A. M. (2009). Detección de *Clavibacter michiganensis* subespecie *michiganensis* en el tomate del estado de Sonora, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(4), 319-326.
- Borboa-Flores, J., Rueda Puente, E. O., Acedo Félix, E., Ponce, J. F., Cruz-Villegas, M., García-Hernández, J.L. & Ortega-Nieblas, M.M. (2010). Evaluación de la actividad antibacteriana in vitro de aceites esenciales contra *Clavibacter michiganensis* subespecie *michiganensis*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(3), 539-547.
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223-253.

- Camiletti, B., Asensio, C., Giménez Pecci, M., & Lucini, E. (2014). Natural control of corn postharvest fungi *Aspergillus flavus* and *Penicillium* sp. using essential oils from plants grown in Argentina. *Journal of Food Science*, 79(12), 2499-2506.
- Carezzano, M., Sotelo, J., Primo, E., Reinoso, E., Paletti Rovey, M., Demo, M., Giordano, W., & Oliva, M. (2017). Inhibitory effect of *Thymus vulgaris* and *Origanum vulgare* essential oils on virulence factors of phytopathogenic *Pseudomonas syringae* strains. *Plant Biology*, 19, 599-607.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2018). *InfoStat versión 2018*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- deRapper, S., Kamatou, G., Viljoen, A., & Van Vuuren, S. (2013). *The in vitro antimicrobial activity of Lavandula angustifolia essential oil in combination with other aromatic therapeutic oils*. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2013, 852049. <https://doi.org/10.1155/2013/852049>
- Falleh, H., Jemaa, M. B., Saada, M., & Ksouri, R. (2020). Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. *Food Chemistry*, 330, 127268.
- FAO. (2023). *FAOSTAT: Crops and livestock products*. Consultado el 28-04-2025. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>. Licencia: CC-BY-4.0.
- Gismondi, A., Di Marco, G., Redi, E. L., Ferrucci, L., Cantonetti, M., & Canini, A. (2021). The antimicrobial activity of *Lavandula angustifolia* Mill. essential oil against *Staphylococcus* species in a hospital environment. *Journal of Herbal Medicine*, 26, 100426. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2021.100426>
- Gómez Herrera, M. D., Cardozo, M. C., Prieto, M. C., Avanza, M. V., & Alayón Luaces, P. (2025). Search for biological activity of proteolytic enzymes isolates from native and cultivated Bromeliaceae in Corrientes on phytopathogenic microorganisms. *Bonplandia*, 34(1), 1-11. <https://doi.org/10.30972/bon.3417883>

Jirovetz, L., Buchbauer, G., Denkova, Z., Stoyanova, A., Murgov, I., Schmidt, E., & Geissier, M. (2005). Antimicrobial testings and gas chromatographic analysis of pure oxygenated monoterpenes 1,8-cineole,  $\alpha$ -terpineol, terpinen-4-ol and camphor as well as target compounds in essential oils of pine (*Pinus pinaster*), rosemary (*Rosmarinus officinalis*), tea tree (*Malaleuca alternifolia*). *Scientia Pharmaceutica*, 73, 23-39.

Karaca, N., Şener, G., Demirci, B., & Demirci, F. (2021). Synergistic antibacterial combination of *Lavandula latifolia* Medik. essential oil with camphor. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 76(3-4), 169-173. <https://doi.org/10.1515/znc-2020-0051>

Kačániová, M., Galovičová, L., Borotová, P., Vukovic, N. L., Vukic, M., Kunová, S., Hanus, P., Bakay, L., Zagrobelna, E., Kluz, M., & Kowalczewski, P. L. (2022). Assessment of *Ocimum basilicum* essential oil anti-insect activity and antimicrobial protection in fruit and vegetable quality. *Plants*, 11, 1030. <https://doi.org/10.3390/plants11081030>

Lakušić, B., Lakušić, D., Ristic, M., Marčetic, M., & Slavkovska, V. (2014). Seasonal variations in the composition of the essential oils of *Lavandula angustifolia* (Lamiaceae). *Natural Product Communications*, 9(6), 859-862. <https://doi.org/10.1177/1934578X1400900635>

Martínez-Castro, E., Gálvez, R., Alpuche-Solís, A., Vallejo-Pérez, M., Colli-Mull, J., & Ávila, P. (2018). Bacterial wilt and canker of tomato: fundamentals of a complex biological system. *Euphytica*, 214, 72.

Orzali, L., Valente, M. T., Scala, V., Loreti, S., & Pucci, N. (2020). Antibacterial activity of essential oils and *Trametes versicolor* extract against *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* and *Ralstonia solanacearum* for seed treatment and development of a rapid in vivo assay. *Antibiotics*, 9(9), 628.

Prieto, M. C., Lapaz, M., Lucini, E., Pianzzola, M., Grosso, N., & Asensio, C. (2020). Thyme and suico essential oils: Promising natural tools for potato common scab control. *Plant Biology*, 22, 81-89.

Prieto, M. C., Camacho, N. M., Dell Inocenti, F., Mignolli, F., Lucini, E., Palma, S., Bima, P., Grosso, N. R., & Asensio, C. M. (2023). Microencapsulation of *Thymus vulgaris* and *Tagetes minuta* essential oils: Volatile release behavior, antibacterial activity, and effect on potato yield. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22, 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.10.003>

Prieto, M. C., Grosso, N. R., Camiletti, O. F., & Galdeano, E. (2024). Combined application effect of citrus essential oils against the phytobacterium *Streptomyces scabiei*. *European Journal of Plant Pathology*, 170, 899-912. <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02844-x>

Santra, H. K., & Banerjee, D. (2020). *Natural products as fungicide and their role in crop protection*. En Singh, J. & Yadav, A. (Eds.), Natural Bioactive Products in Sustainable Agriculture. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-3024-1\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-15-3024-1_9)

Scarpatti, N. (2020). *La producción de tomate en Argentina*. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/produccion-tomate-argentina-diciembre-2020.pdf>

Sen, Y., Wolf, J., Visser, R., & Heusden, S. (2015). Bacterial canker of tomato: Current knowledge of detection, management, resistance, and interactions. *Plant Disease*, 99, 4-13.

Sotelo, J., Oddino, C., Giordano, D., Carezzano, M., & Oliva, M. (2021). Effect of *Thymus vulgaris* essential oil on soybeans seeds infected with *Pseudomonas syringae*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 116, 101735.

Walasek-Janusz, M., Grzegorczyk, A., Zalewski, D., Malm, A., Gajcy, S., & Gruszecki, R. (2022). Variation in the antimicrobial activity of essential oils from cultivars of *Lavandula angustifolia* and *L. × intermedia*. *Agronomy*, 12, 2955. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122955>

Zygallo, J. A., Zunino, M. P., Pizzolitto, R. P., Merlo, C., Omarini, A., & Dambolena, J. S. (2017). *Antibacterial and anti-biofilm activities of essential oils and their components including modes of action*. En Essential oils and nanotechnology for treatment of microbial diseases. CRS Press, pp. 99-126.