

Artículo Original / Original Article

Aceite esencial de hojas de *Minthostachys mollis* [HBK] Griseb. del Ecuador: Extracción, composición química, capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana

[Essential oil of *Minthostachys mollis* [HBK] Griseb. leaves from Ecuador: Extraction, chemical composition, antioxidant capacity and antimicrobial activity]

Jaime O. Rojas-Molina¹, Jorge A. Pino^{2,3}, Edwin R. Cevallos-Carvajal¹, Zoila E. Zambrano-Ochoa¹,
Carla E. Vaca-Castro⁴, Franklin A. Molina-Borja¹ y Karla R. Mena-Herrera¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

²Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, La Habana, Cuba

³Departamento de Alimentos, Instituto de Farmacia y Alimentos Universidad de La Habana, Cuba

⁴Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales, Carrera de Alimentos, Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcan, Ecuador

Reviewed by:

Juan Bueno
Fundacion BIOLABB
Colombia

Valdir Veiga
Military Engineering Institute
Brazil

Correspondence:

Jaime O. ROJAS-MOLINA:
jaime.rojas@utc.edu.ec

Section Biological activity

Received: 28 May 2023

Accepted: 9 August 2023

Accepted corrected: 7 September 2023

Published: 30 May 2024

Citation:

Rojas-Molina JO, Pino JA, Cevallos-Carvajal ER,
Zambrano-Ochoa ZE, Vaca-Castro CE,
Molina-Borja FA, Mena-Herrera KR
Aceite esencial de hojas de *Minthostachys mollis*
[HBK] Griseb. del Ecuador: Extracción,
composición química, capacidad antioxidante y
actividad antimicrobiana

Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat

23 (3): 437 - 447 (2024).

<https://doi.org/10.37360/blacpma.24.23.3.30>

Abstract: The aim of this study was to optimize by response surface design, the extraction of the leaf essential oil (EO) from *Minthostachys mollis* [HBK] Griseb., grown in Ecuador, using steam distillation. The factors used were extraction time (XTIE) of 60, 105 and 150 min and plant material/water ratio (XRMA) of 1:3, 1:4 and 1:5. The optimal combination was reached with XRMA 1:5 and XTIE 150 min, obtaining a process yield of 0.67%. The chemical composition of the EO analyzed by GC-MS was determined, where the main compounds were carvacryl acetate (44.01%), carvacrol (16.51%) and menthone (8.20%). The antioxidant capacity of EO was evaluated using the FRAP and ABTS methodologies, with an IC₅₀ 243.21 μmol Fe²⁺/g and 0.12 mg/mL, respectively. In addition, the antimicrobial activity of EO was found against *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*.

Keywords: *Minthostachys mollis*; Essential oil; Extraction; Chemical composition; Biological activities

Resumen: El objetivo del estudio fue optimizar, mediante un diseño de superficie respuesta, la extracción del aceite esencial (AE) de hojas de *Minthostachys mollis* [HBK] Griseb. del Ecuador, mediante destilación por arrastre de vapor. Los factores fueron el tiempo de extracción (XTIE) de 60, 105 y 150 min, y relación de material vegetal/ agua destilada (XRMA) de 1:3, 1:4 y 1:5. La combinación óptima se logró con XTIE 150 min y XRMA 1:5 para un rendimiento de 0,67%. Se determinó la composición química del AE por GC-MS donde los compuestos mayoritarios fueron acetato de carvacrilo (44,01%), carvacrol (16,51%) y mentona (8,20%). Se evaluó la capacidad antioxidante del AE por las metodologías FRAP y ABTS, con CI₅₀ de 243,21 μmol Fe²⁺/g y 0,12 mg/mL, respectivamente. Además, se demostró la actividad antimicrobiana contra *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*.

Palabras clave: *Minthostachys mollis*; Aceite esencial; Extracción; Composición química; Actividades biológicas.

INTRODUCTION

El empleo de plantas y compuestos de origen vegetal en la medicina ancestral ha demostrado la eficacia sobre la prevención y tratamiento de varias enfermedades (Aguaiza y Simbaina, 2021). La alta diversidad de especies biológicas hace que el Ecuador sea uno de los países con alto potencial fitoterapéutico (Noriega *et al.*, 2018). En el país son conocidas solo una pequeña cantidad de especies biológicas, donde se han estudiado sus propiedades y beneficio de los seres humanos (Estrella, 2005; Noriega *et al.*, 2018).

Los aceites esenciales (AEs) son compuestos volátiles, naturales y complejos que se obtienen principalmente de materias primas vegetales como flores, semillas, capullos, hojas, frutos, madera, raíces, cortezas y ramas, se caracterizan por su fuerte olor, por lo que sus fracciones y sus aislados se utilizan en saborizantes y fragancias, alimentos, perfumería, cosméticos y artículos de tocador, productos químicos, industria farmacéutica y fitoterapia (Hüsni *et al.*, 2007; Bakkali *et al.*, 2008; Eslahi *et al.*, 2017). Los AEs tienen varias propiedades biológicas, como acción antimicrobiana, antioxidante, analgésica y actividad antiinflamatoria, fungicida y antitumoral (Adorjan y Buchbauer, 2010; Andrade *et al.*, 2014). Las propiedades biológicas del AE dependen de la composición cuantitativa y las relaciones antagónicas y sinérgicas de los componentes (Misharina *et al.*, 2009).

La extracción por arrastre de vapor es el método comercial más utilizado, debido a que resulta económico y los rendimientos son altos, en comparación con otras técnicas (Basavegowda y Baek, 2021). En esta metodología, el material vegetal no entra en contacto directo con el agua, siendo el vapor en condiciones específicas de sobrecalentamiento, el que atraviesa el material vegetal y arrastra los compuestos volátiles hasta un receptor, para que posteriormente sean recogidos y separados (El Asbahani *et al.*, 2015).

El tifo (*Minthostachys mollis* [HBK] Griseb.) es un arbusto perteneciente a la familia Lamiaceae, que crece en los países sudamericanos. Ese tipo de planta se expande en un clima lluvioso y alta luminosidad (León, 2017). Las propiedades terapéuticas de esta especie se reportan en el tratamiento de enfermedades del tracto respiratorio y del sistema digestivo, así como cualidades conservantes de alimentos debido a sus propiedades

antimicrobianas (Otoya, 2020). Por su actividad biológica (antieméticas, antibacterianas, antioxidantes y antiinflamatorias), las infusiones de tifo son utilizadas antiespasmódico, antidiarreico, aromático, carminativo y sedante (León, 2017; Paniagua *et al.*, 2020).

La composición química de un AE puede variar debido al tipo de especie botánica y variedad, localización geográfica, condiciones ambientales, etapa de maduración y método de obtención (Chaquilla-Quilca, 2011; Nazzaro *et al.*, 2017). Investigaciones sobre la composición química del AE de *M. mollis* destacan la presencia de pulegona, mentona, acetato de carvacrilo, carvacrol y β -cariofileno (Rojas y Usubillaga, 1995; Malagón *et al.*, 2003; Mora *et al.*, 2009; Van Baren *et al.*, 2014; Quezada Moreno *et al.*, 2019a; Cayo *et al.*, 2021).

Este trabajo tuvo como objetivo optimizar el proceso de extracción del aceite esencial de hojas de tifo (*Minthostachys mollis* [HBK] Griseb.), recolectadas en Ecuador, por destilación con arrastre de vapor, así como determinar la composición química, capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección del material vegetal

La autenticación fue realizada por botánicos del Herbario de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTCEC), y se depositó un ejemplar de voucher en el herbario (número de acceso UTCEC00000800). La planta recolectada en la etapa de floración, en la provincia de Cotopaxi, ciudad de Pujilí, parroquia Zumbagua (3553 msnm). Luego se seleccionaron las hojas libres de daños y alteraciones morfológicas (Gaibor *et al.*, 2017). Se cortaron en fragmentos de aproximadamente 1 cm² para la destilación.

Diseño experimental

El diseño experimental y tratamiento de los datos de la extracción del AE se realizó con el programa Design Expert 8.0.6 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, EE. UU.). La optimización numérica se desarrolló mediante el diseño de superficie respuesta IV Óptimo. La extracción del AE se hizo mediante destilación por arrastre con vapor, donde se establecieron como factores el tiempo de extracción (X_{TE}) entre 60 y 150 min y la relación material vegetal/agua destilada (X_{RMA}) entre 1:3 y 1:5, siendo el rendimiento la variable de respuesta. Un total de 17

corridas representaron el comportamiento del proceso.

Optimización de la extracción del AE

El AE fue extraído en un equipo de destilación por arrastre con vapor modelo LP-10L (Lanphan Ltd., China). Los factores y condiciones experimentales fueron definidas de otras investigaciones (Quezada Moreno *et al.*, 2019a; Quezada Moreno *et al.*, 2019b; Soler, 2021). La mezcla AE y agua se recogió en un matraz acoplado a un separador. Por medio de una jeringuilla se separó el AE, que fue secado con sulfato de sodio anhidro, filtró, envasó en frascos de

vidrio oscuro y almacenó en refrigeración. Se realizaron tres réplicas con las condiciones óptimas de extracción (Marín, 2015).

Determinación del rendimiento de la extracción del AE

Se evaluó el rendimiento a cada una de las corridas experimentales, mediante la relación entre la masa del material vegetal y del AE. El cálculo del rendimiento se realizó mediante la ecuación 1 (Nazem *et al.*, 2019; Ajila *et al.*, 2023).

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{(\text{masa del aceite esencial})}{(\text{masa del material vegetal})} \times 100 \quad (\text{ec. 1})$$

Determinación de la composición química, capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana del AE

Con el uso de un equipo de CG-MS Agilent Technologies 5975 (Agilent, Palo Alto, CA, EE. UU.) se determinó la composición química del AE. Se usó una columna capilar DB-Wax (J&W Scientific, Folsom, CA, EE. UU.). El horno se mantuvo a una temperatura de 50°C durante 1 min y luego hasta 320°C a 4°C/min e isotérmico a 320°C por 5 min. Helio como gas portador a 1 mL/min. Previo al análisis se preparó una mezcla del AE con *n*-hexano (1:1) y se inyectó 1 µL. La temperatura de la fuente y conexiones fue 320°C. Los datos de GC-MS fueron captados a 70 eV con tiempos de escaneo de 1,5 s en el rango de masas de 40 a 400 amu. Se calcularon los índices de retención lineales (IRL) con respecto a una mezcla estándar de *n*-parafinas. Los espectros de masas e IRL se compararon con los obtenidos con sustancias patrones y reportados en la base de datos NIST Standard Reference Database (<https://webbook.nist.gov/chemistry>). La cuantificación se hizo por normalización interna considerando factor de respuesta unitarios para todos los compuestos.

El ensayo de antioxidantes reductores férricos (FRAP) se realizó con una mezcla de 10 mM de reactivo TPTZ (2,4,6-tripiridil-1,3,5-triazina) con 20 mM de cloruro férrico en una disolución tampón acetato (pH=3,6). La curva de calibración se lo realizó con un estándar de sal de Mohr (0,02 a 1,5 µM). Para la determinación se pesó 1 g de aceite

esencial y se diluyó con metanol, hasta alcanzar el rango deseado en la curva de calibración. Luego se mezcló la muestra y los estándares con 0,3 mL de reactivo de FRAP, la mezcla se incubó a 37°C por 15 min. Se midió la absorbancia de las muestras y los estándares a 593 nm (Nazem *et al.*, 2019; Jo *et al.*, 2021).

El método de ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazol)-6-sulfónico), se basa en la decoloración del radical causada por la presencia de donantes de hidrógeno o de electrones. La solución del radical ABTS^{•+} se preparó mezclando 5 mL de solución ABTS 7 mM con 88 µL de solución de persulfato de potasio 140 mM. Se midieron 100 µL de la muestra y 1 mL de la solución del radical ABTS^{•+}; seguidamente se disolvió en buffer de ácido acético-acetato de sodio (pH=5) La solución de ABTS se diluyó en etanol hasta obtener una absorbancia de 0,7 ± 0,05 a 734 nm. La curva de calibración se realizó con un estándar de Trolox a concentraciones de 100, 250, 500 y 1000 µM. De la muestra y los estándares se transfirió una alícuota de 30 µL a tubos de ensayo y agregaron 3 mL de la solución radical ABTS. Las absorbancias se midieron a 734 nm después de 6 min de reacción. Los resultados se expresaron como CI₅₀ (mg/mL), que expresa la concentración para eliminar el 50% de los radicales ABTS (Palacios, 2018; Silva *et al.*, 2018; Rioja-Antezana *et al.*; 2018).

La determinación de la actividad antimicrobiana se hizo por la metodología de concentración mínima inhibitoria (CMI). Loa

bacterias utilizadas corresponden a la colección de la Universidad Técnica de Cotopaxi: *Escherichia coli* (ATTC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATTC 25923), *Pseudomonas aeruginosa* (ATTC 10145), *Listeria monocytogenes* (ATTC 19115) y *Bacillus cereus* (ATTC 10876). Se preparó un medio de cultivo con agar Mueller Hinton, solución estéril de Tween 80 y AE. Para la evaluación con cada cepa bacteriana se prepararon seis medios de cultivo a concentraciones de 0; 0,1; 0,5; 1, 3 y 5% de AE. En las cajas Petri se introdujeron 10 μL del inóculo, después se incubó a 37°C: La CMI corresponde a la

concentración más baja de AE capaz de inhibir el crecimiento bacteriano después de 18 a 24 h de contacto (Ainane et al., 2021; Torres, 2023).

RESULTADOS

Optimización de la extracción del AE

La Tabla No. 1 muestra la matriz experimental, donde se muestra los datos obtenidos para el diseño de superficie respuesta. Mediante el diseño matemático se establecieron 17 corridas experimentales, para la variable de respuesta rendimiento.

Tabla No. 1
Matriz experimental para la extracción del AE

Corrida	Tiempo (min)	Relación material vegetal/agua destilada	Rendimiento (%)
1	60	1:3	0,53
2	150	1:5	0,69
3	60	1:3	0,55
4	150	1:4	0,66
5	105	1:5	0,68
6	105	1:3	0,61
7	105	1:3	0,60
8	150	1:5	0,68
9	60	1:4	0,63
10	60	1:5	0,65
11	105	1:3	0,61
12	150	1:3	0,62
13	105	1:4	0,65
14	105	1:4	0,64
15	105	1:5	0,67
16	150	1:3	0,63
17	60	1:5	0,65

La Tabla N° 2 presenta los parámetros del modelo codificado de rendimiento. Con un nivel de confianza del 95%, el modelo matemático se ajustó a una relación cuadrática. Para el modelo de rendimiento la relación material vegetal/agua (X_{RMA})

y el tiempo de extracción (X_{TIE}) presentó una relación significativa. El coeficiente de determinación (R^2) mostró que el modelo ajustado expone el 97,4% de variabilidad del rendimiento.

Tabla No. 2
Parámetros del modelo codificado de rendimiento

Indicador	Rendimiento (%)
Intercepto	0,64
X_{RMA}	0,038*
X_{TIE}	0,025*
$X_{RMA} X_{TIE}$	0,013*
X_{RMA}^2	0,004*
X_{TIE}^2	0,013*
R^2	0,9736
R^2 ajustado	0,9577
R^2 predicho	0,8935
F modelo	61,44*
F falta de ajuste	4,58
Precisión adecuada	24,013

X_{RMA} : relación material vegetal/agua destilada;

X_{TIE} : tiempo de extracción. *Valor significativo para $p \leq 0,05$

Para comprobar el desempeño de la optimización se ejecutó la experimentación a las condiciones óptimas y se contrastó con el valor predicho, alcanzando valores similares entre el valor predicho (0,68%) y experimental ($0,67 \pm 0,1\%$).

Composición del AE

La Tabla N° 3 muestra la composición química del aceite esencial de tifo, que se desarrolló mediante GC-MS. Se detectaron 18 compuestos que

representan el 98,94% de la composición total.

Capacidad antioxidante del AE

Los resultados de capacidad antioxidante se muestran en la Tabla N° 4. Los valores obtenidos por las metodologías de FRAP y ABTS fueron 243,21 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ y 0,12 mg/mL (CI_{50}), respectivamente, lo que es superior al trabajo con el AE de la misma especie colectado en Colombia donde se reportó una CI_{50} de 0,02 mg/mL (Granados-Conde *et al.*, 2012).

Tabla No. 3
Composición química del AE de *Minthostachys mollis* [HBK] Griseb

Compuesto	IRL _{exp} ^a	IRL _{lit} ^b	%
α-Tuyeno	1017	1019	0,93
α-Terpineno	1180	1178	0,38
Limoneno	1204	1205	0,40
<i>p</i> -Cimeno	1251	1253	4,69
γ-Terpineno	1260	1261	1,68
Linalol	1541	1540	1,17
Neomentol	1576	1574	1,09
Mentona	1449	1449	8,20
Acetato de isomentilo	1545	1547	0,84
β-Cariofileno	1621	1622	2,33
Pulegona	1633	1631	4,69
Germacreno D	1691	1690	1,12
Piperitona	1721	1722	5,40
Biciclogermacreno	1734	1736	1,06
Acetato de timilo	1869	1867	2,37
Acetato de carvacrilo	1885	1882	44,01
Piperitenona	1916	1918	2,06
Carvacrol	2224	2222	16,51

^aIRL_{exp} = Índice de retención lineal experimental, ^bIRL_{lit} = Índice de retención lineal de la literatura

Tabla No. 4
Análisis de FRAP y ABTS

Muestra	ABTS	FRAP	
	CI ₅₀ (mg/mL)	Concentración (mg/mL)	μmol Fe ²⁺ /g
Aceite esencial	0,12 (0,02)	4	243,2 (3,4)
		2	154,0 (4,1)
		1	91,2 (3,2)

Evaluación de la actividad antimicrobiana del AE

Los resultados de la actividad antibacteriana del AE se muestran en la Tabla N° 5. La efectividad del AE

estuvo en el rango de 0,1 a 5,0% por la metodología de concentración mínima inhibitoria (CMI) contra las bacterias.

Tabla No. 5
Concentración mínima inhibitoria (CMI) del AE de *Minthostachys mollis* [HBK] Griseb

Microorganismo	CMI (mg/L)
<i>Salmonella enterica</i>	3,0
<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 25923)	5,0
<i>Escherichia coli</i> (ATCC 25922)	3,0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 39327)	0,1

DISCUSIÓN

Optimización de la extracción del AE

El rendimiento de la extracción del AE se ve influenciado por factores como la especie vegetal, estado de cosecha, ubicación geográfica de la planta, tamaño de partícula del material vegetal, tiempo de extracción, método de extracción y relación masa disolvente (Marín, 2015; Quezada Moreno *et al.*, 2019a).

Los rendimientos de la extracción del AE variaron entre 0,53 y 0,69%, lo que se asemeja a las investigaciones realizadas con la misma especie donde se obtuvo un rendimiento de 0,60% (Granados-Conde *et al.*, 2012) y 0,65% (Torrenegra-Alarcon *et al.*, 2016). Otras investigaciones reportaron valores diferentes de rendimiento: 1,05% (Torrenegra *et al.*, 2015); 2,14% (Carhuapoma *et al.*, 2009); 0,27% (Fuentes Ruitón y Munguía Chipana, 2001) y 0,28 & (Quezada Moreno *et al.*, 2019b).

La relación material vegetal/agua (X_{RMA}) y tiempo de extracción (X_{TIE}) son factores significativos ($p \leq 0,05$). El coeficiente positivo indica una relación directa entre los factores y la variable de respuesta rendimiento.

El rendimiento mostró una relación directa, pues cuando se incrementa la relación material vegetal/agua y el tiempo de extracción, aumenta el rendimiento del proceso de extracción.

La alta cantidad de disolvente permite lograr una mayor superficie en el material vegetal, asegurando así un alto rendimiento de extracción del aceite esencial (Harborne, 1998). Algunas plantas contienen AE en sus glándulas odoríferas, debido al vapor de agua se hinchan y hacen que los aceites esenciales fluyan hacia el exterior por ósmosis (Harborne, 1998). En las primeras horas de extracción se producen los rendimientos más altos de

AEs, debido a la difusión de los componentes de una fase a otra, creando una transferencia de masa de principios activos con tendencia equilibrada. El rendimiento de los AEs de una planta puede variar dependiendo de la especie vegetal, ubicación geográfica, edad, condiciones abióticas (luz, temperatura, etc.), época de recolección y condiciones climáticas en las que se encuentra la planta (Torres *et al.*, 2018, Mena y Salas, 2022).

Con la optimización numérica del rendimiento, se obtuvo con una relación material vegetal/agua (X_{RMA}) de 1:5 y tiempo de extracción (X_{TIE}) de 150 min las mejores condiciones previstas dentro del rango experimental, con una deseabilidad de 0,96.

Composición del AE

Se encontraron 18 compuestos químicos en el AE de tifo, siendo los compuestos mayoritarios el acetato de carvacrilo (44,01%), carvacrol (16,51%) y mentona (8,20%), por lo que puede afirmarse que el material vegetal pertenece al quimiotipo acetato de carvacrilo-carvacrol, similar al reportado para la región del noroeste de Argentina (van Baren *et al.*, 2014). En un estudio anterior del AE de la misma especie, en la provincia de Carchi (Ecuador) entre 2500-3500 msnm, se reportaron como compuestos principales al acetato de carvacrilo (18,95%) y carvacrol (7,60%) (Quezada Moreno *et al.*, 2019a). Otras investigaciones con el AE de hojas recolectadas en Venezuela a 3600 msnm difieren con los valores obtenidos, donde se detectó como compuestos mayoritarios a la pulegona (79,32%) y mentona (3,98%) (Rojas *et al.*, 2011). En otro trabajo en material recolectado en Huancavelica (Perú) a 3000 msnm, se encontraron como compuestos mayoritarios a la pulegona (30,17%), mentona (16,55%) y mentol

(15,23%) (Paucar *et al.*, 2021) y en otra investigación en plantas de los Andes venezolanos a 3000 msnm se detectaron dos compuestos mayoritarios: pulegona (55,22%) y mentona (31,50%) (Mora *et al.*, 2009). Por otra parte, el estudio de 75 muestras recolectadas de 40 poblaciones en Argentina central y noroeste durante cuatro años indicó que las muestras de Córdoba y San Luis pertenecen al quimiotipo mentona-pulegona, mientras que las de Tucumán, Salta y Catamarca se agrupan en cinco quimiotipos: dihidrocarvona-carvona, pulegona con ausencia de mentona, acetato de carvacrilo-carvacrol, limoneno y linalol (van Baren *et al.*, 2014), mientras que el AE de plantas en Cajamarca (Perú) a 2648 msnm tuvo como componentes mayoritarios a la mentona (13,2%) y pulegona (12,4%) (Benites *et al.*, 2018).

Los AE de plantas del género *Minthostachys* poseen una gran variedad de compuestos químicos, donde prevalece la presencia de pulegona, mentona, acetato de carvacrilo y carvacrol (Rojas y Usubillaga, 1995; Malagón *et al.*, 2003; Mora *et al.*, 2009; van Baren *et al.*, 2014; Quezada Moreno *et al.*, 2019b; Cayo *et al.*, 2021).

La composición química del AE puede cambiar debido a la variación genética de la planta, condiciones ambientales (temperatura, fotoperíodo, nutrición, clima, ubicación geográfica y tiempo de cosecha), método de extracción y conservación (Verma y Shukla, 2015; Mancianti y Ebani, 2020).

Capacidad antioxidante del AE

En la Tabla N° 4 se muestra los compuestos principales del AE, donde prevalecen la pulegona, mentona, acetato de carvacrilo y carvacrol, componentes con actividad antioxidante reportadas (Can Baser, 2008; Mora *et al.*, 2009; Pires *et al.*,

2013; Sharifi *et al.*, 2018; Quezada Moreno *et al.*, 2019a). Los AE son mezclas complejas y es difícil atribuir sus propiedades a uno o unos pocos compuestos, por lo que su actividad biológica se atribuye a los compuestos predominantes (Noriega *et al.*, 2018)

Evaluación de la actividad antimicrobiana del AE

La actividad antimicrobiana del AE mostró una alta efectividad contra cepas bacterianas, según la experimentación se detalla el orden de efectividad en CMI: *P. aeruginosa* (ATTC 39327) > *S. entérica* = *E. coli* (ATTC25922) > *S. aureus* (ATTC25923). Se observa que *S. aureus* (ATCC 25923) presentó la mayor resistencia al aceite esencial con una CMI de 5%.

Se necesita más investigación para aclarar el mecanismo de acción exacto de los AE, pero se cree que el aceite activa o destruye directamente las dianas moleculares. Por lo tanto, el efecto del AE sobre las bacterias es el resultado del mayor efecto sinérgico potencial de cada compuesto individual (Sayout *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

En el aceite esencial de *Minthostachys mollis* se identificaron 18 compuestos mayoritarios, donde destacan el carvacril acetato (44,01%), carvacrol (16,51%) y mentona (8,20%). El AE presentó alta actividad antioxidante por las metodologías de FRAP y ABTS, obteniéndose valores de CI₅₀ 243,21 µmol Fe²⁺/g y 0,12 mg/mL, respectivamente. La actividad antimicrobiana del AE mostró efectividad contra cepas bacterianas de *P. aeruginosa* (ATTC 39327), *S. entérica*, *E. coli* (ATTC25922) y *S. aureus* (ATTC25923).

REFERENCIAS

- Adorjan B, Buchbauer G. 2010. Biological properties of essential oils: an updated review. **Flavour Fragr J** 25: 407 - 426. <https://doi.org/10.1002/ffj.2024407>
- Ajila WV, Ordóñez LG, Valeirón CR, Fernández ED, Gonzales EB, Ochoa HC, Rojas RO, Robles JR. 2023. Composición química y revisión de las propiedades acaricidas de los aceites esenciales de *Melinis minutiflora* y *Lantana camara*. **Bol Latinoam Caribe Plantas Med Arom** 22: 488 - 499. <https://doi.org/10.37360/blacpma.23.22.4.36>
- Aguaiza Q, Simbaina J. 2021. Uso de plantas medicinales y conocimientos ancestrales en las comunidades rurales de la provincia de Cañar, Ecuador. **Rev CENIC Cienc Biol** 52: 223 - 236.
- Andrade BFMT, Barbosa LN, Probst I Da Silva IS, Fernandes Jr A. 2014. Antimicrobial activity of essential oils. **J Essent Oil Res** 26: 34 - 40. <https://doi.org/10.1080/10412905.2013.860409>
- Basavegowda N, Baek KH. 2021. Synergistic antioxidant and antibacterial advantages of essential oils for food packaging applications. **Biomolecules** 11: e1267. <https://doi.org/10.3390/biom11091267>

- Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. 2008. Biological effects of essential oils—a review. **Food Chem Toxicol** 46: 446 - 475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Benites J, Guerrero-Castilla A, Salas F., Martinez JL, Jara-Aguilar R, Venegas-Casanova EA, Suarez-Rebaza L, Guerrero-Hurtado J, Buc-Calderon P. 2018. Chemical composition, *in vitro* cytotoxic and antioxidant activities of the essential oil of Peruvian *Minthostachys mollis* Griseb. **Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat** 17: 566 - 574.
- Can Baser KH. 2008. Biological and pharmacological activities of carvacrol and carvacrol bearing essential oils. **Curr Pharm Des** 14: 3106 - 3119. <https://doi.org/10.2174/138161208786404227>
- Carhuapoma M, López S, Roque M, Velapatiño B, Bell C, Whu D. 2009. Actividad antibacteriana del aceite esencial de *Minthostachys mollis* Griseb “Ruyaq muña”. **Cienc Invest** 12: 83 - 89. <https://doi.org/10.15381/ci.v12i2.3404>
- Cayo C, Paucar E, Peltroche N. 2021. Antibacterial and antifungal activity of the essential oil of *Minthostachys mollis* against oral microorganisms. **Rev Cub Invest Biomed** 40: 145 - 150.
- Chaquilla-Quilca G, Estela-Escalante WD, Torres-Muñoz V, Ballinas-Casarrubias ML, Gastélum-Franco MG, Nevárez-Moorillón GV. 2011. Composición química y contenido de fenoles totales en aceites esenciales de muña *Minthostachys setosa* Briq Epl y anís *Pimpinella anisum* L. **Revista ECIPerú** 8: 5 - 5.
- El Asbahani A, Miladi K, Badri W, Sala M, Ait Addi EH, Casabianca H, El Mousadik A, Hartmann D, Jilale A, Renaud FNR, Elaissari A. 2015. Essential oils: From extraction to encapsulation. **Int J Pharm** 483: 220 - 243. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.12.069>
- Eslahi H, Fahimi N, Sardarian A. 2017. **Chemical composition of essential oils. Essential oils in food processing: chemistry, safety and applications.** Department of Chemistry, College of Sciences, Shiraz University, Iran.
- Estrella J. 2005. **Biodiversidad y recursos genéticos: una guía para su uso y acceso en el Ecuador.** Editorial Abya Yala, Quito, Ecuador.
- Fuertes Ruitón CM, Munguía Chipana Y. 2001. Estudio comparativo del aceite esencial de *Minthostachys mollis* (Kunth) Griseb" muña" de tres regiones peruanas por cromatografía de gases y espectrometría de masas. **Ciencia Investigación** 4: 23 - 39.
- Gaibor M, Rodríguez D, García M, Casariego A. 2017. Optimization of the hydroalcoholic extraction process from blackcherry (*Syzygium cumini* L. Skeels) pulp. **Cienc Tecnol Alim** 27: 51 - 60.
- Granados-Conde C, Yañez-Rueda X, Santafé-Patiño G. 2012. Evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial foliar de *Calycolpus moritzianus* y *Minthostachys mollis* de Norte de Santander. **Bistua Rev Fac Cienc Bas** 10: 12 - 23.
- Harborne J. 1998. **Phytochemical methods.** Chapman and Hall, London, UK.
- Hüsni K, Başer C, Demirci F. 2007. **Chemistry of essential oils. Flavours and fragrances: Chemistry, bioprocessing and sustainability.** Department of Pharmacognosy, Faculty of Pharmacy, Anadolu University, Eskişehir, Turkey.
- Jo YJ, Cho HS, Chun, JY. 2021. Actividad antioxidante de complejos de inclusión de β -ciclodextrina que contienen trans-cinamaldehído por DPPH, ABTS y FRAP. **Cienc Biotecnol Alim** 30: 807 - 814.
- León K. 2017. **Actividad alexitera de *Tabernaemontana sananho* Ruiz & Pav. (Kunapi) y *Minthostachys cf. mollis* (Kunth) Griseb (Kurarina) sobre el veneno de *Bothrops atrox* (“Pitalala”).** Thesis. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Malagón O, Vila R, Iglesias J, Zaragoza T, Cañigual S. 2003. Composition of the essential oils of four medicinal plants from Ecuador. **Flavour Fragr J** 18: 527 - 531. <https://doi.org/10.1002/ffj.1262>
- Mancianti F, Ebani VV. 2020. Biological activity of essential oils. **Molecules** 25: 678. <https://doi.org/10.3390/molecules25030678>
- Marín I. 2015. **Actividad antioxidante y antibacteriana de aceites esenciales de ecológicos de hinojo, perejil y lavanda.** Universidad Miguel Hernández, Elche. España.
- Mena G, Salas E. 2022. **Extracción del aceite esencial de sunfo (*Clinopodium nubigenum* Kunth Kuntze) por el método de arrastre de vapor, para su caracterización química, antioxidante y microbiológica.** Thesis, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.

- Misharina T, Terenina M, Krikunova N. 2009. Antioxidant properties of essential oils. **Appl Biochem Microbiol** 45: 642 - 647. <https://doi.org/10.1134/S000368380906012X>
- Ainane A, Abdoul-Latif FM, Oumaskour K, Boujaber N, Mohamed J, Ainane T. 2021. Essential oil of *Artemisia herba alba* from Moroccan Sahara: Characterization and antimicrobial activities. **Pharmacologyonline** 3: 838 - 846.
- Mora F, Araque M., Rojas L, Ramirez R, Silva B, Usubillaga A. 2009. Chemical composition and *in vitro* antibacterial activity of the essential oil of *Minthostachys mollis* (Kunth) Griseb Vaught from the Venezuelan Andes. **Nat Prod Commun** 4: 998 - 1000.
- Nazem V, Sabzalian M, Saeidi G, Rahimmalek M. 2019. Essential oil yield and composition and secondary metabolites in self- and open-pollinated populations of mint (*Mentha* spp.). **Ind Crops Prod** 130: 332 - 340. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.018>
- Nazzaro F, Fratianni F, Coppola R, De Feo V. 2017. Essential oils and antifungal activity. **Pharmaceuticals** 10: 86 - 106. <https://doi.org/10.3390/ph10040086>
- Noriega P, Mosquera T, Osorio E, Guerra P, Fonseca A. 2018. *Clinopodium nubigenum* (Kunth) Kuntze essential oil: Chemical composition, antioxidant activity, and antimicrobial test against respiratory pathogens. **J Pharmacog Phytother** 10: 149 - 157. <https://doi.org/10.5897/JPP2017.0467>
- Otoya VL. 2020. Considerations for the use and study of the Peruvian “muña” *Minthostachys mollis* (Benth.) Griseb and *Minthostachys setosa* (Briq.) Epling. **Ethnobot Res Appl** 19: 1 - 9.
- Palacios L. 2018. **Determinación de la capacidad antioxidante de bayas y frutos del bosque**. Tesis, Universidad de Jaén, España.
- Paniagua N, Bussmann, R, Romero C. 2020. *Minthostachys mollis* Griseb. Lamiaceae. **Ethnobotany of the Andes, Ethnobotany of Mountain Regions**. Springer Cham, Berna, Suiza.
- Paucar E, Peltroche N, Cayo C. 2021. Actividad antibacteriana y antifúngica del aceite esencial de *Minthostachys mollis* frente a microorganismos de la cavidad oral. **Rev Cub Invest Biomed** 40: e1450.
- Pires LF, Costa LM, Silva OA, Almeida AAC, Cerqueira GS, Sousa DP, Freitas RM. 2013. Anxiolytic-like effects of carvacryl acetate, a derivative of carvacrol, in mice. **Pharmacol Biochem Behav** 112: 42 - 48. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2013.09.001>
- Quezada Moreno WF, Quezada Torres WD, Través A, Arias G, Cevallos E, Zambrano Z, Brito H, Salazar K. 2019a. Essential oil of *Minthostachys mollis*: extraction and chemical composition of fresh and stored samples. **Arab J Med Arom Plants** 5: 59 - 71.
- Quezada Moreno WF, Quezada-Torres WD, Gallardo-Aguilar I, Cevallos-Carvajal E, Arias-Palma G, Través-Castellano A, Zambrano-Ochoa Z, Rojas-Molina O. 2019b. Extraction and chemical characterization of the essential oil of *Tagetes pusilla*, in fresh and stored samples. **Afinidad** 76:
- Rioja Antezana AP, Vizaluque BE, Aliaga-Rossel E, Tejeda L, Book O, Mollinedo P, Peñarrieta JM. 2018. Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de *Chenopodium quinoa*. **Rev Bol Quím** 35: 168 - 176.
- Rojas LB, Usubillaga AN. 1995. Essential oil of *Minthostachys mollis* Grisebach from Venezuela. **J Essent Oil Res** 7: 211 - 213. <https://doi.org/10.1080/10412905.1995.9698503>
- Sayout A, Ouarhach A, Dilagui I, Soraa N, Abderrahmane R. 2020. Antibacterial activity and chemical composition of essential oil from *Lavandula tenuisecta* Coss.ex Ball. an endemic species from Morocco. **Eur J Integr Med** 33: 81 - 98.
- Silva L, Raposo J, Campos L, Conceição E. 2018. Atividade antioxidante do óleo essencial de *Myrcia sylvatica* (G. Mey.) DC. por diferentes métodos de análises antioxidantes (ABTS, DPPH, FRAP, β -caroteno/ácido linoleico). **Revista Fitos** 12: 117 - 126.
- Soler R. 2021. **Extracción asistida por ultrasonido de compuestos de valor añadido**. Tesis, Universidad de Jaén, España.
- Sharifi M, Varoni E, Iriti M, Martorell M, Setzer W, Contreras MM, Salehi B, Soltani-Nejad A, Rajabi S, Tajbakhsh M, Sharifi-Rad J. 2018. Carvacrol and human health: A comprehensive review. **Phytother Res** 32: 1675 - 1687. <https://doi.org/10.1002/ptr.6103>
- Torrenegra M, Granados C, Osorio M, León G. 2015. Comparación de la hidro-destilación asistida por radiación de

- microondas (MWHD) con hidro-destilación convencional (HD) en la extracción de aceite esencial de *Minthostachys mollis*. **Inf Tecnol** 26: 117 - 122. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000100013>
- Torrenegra-Alarcon M, Granados-Conde C, Durán-Lengua M, León-Mendez G, Yáñez-Rueda X, Martínez C, Pajaro-Castro N. 2016. Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de *Minthostachys mollis*. **Orinoquia** 20: 69 - 74.
- Torres G, Sarmiento O, Ramírez R, Guevara O. 2018. Estimación del contenido de fenoles totales en aceite esencial de caléndula (*Calendula officinalis* L.) obtenido mediante OAH. **Rev Ion** 31: 7 - 12.
- Torres R. 2023. **Efecto de extractos y compuestos comerciales de plantas en la formación y mantenimiento de biopelículas de cepas de *Acinetobacter baumannii* y *Pseudomonas aeruginosa***. Tesis, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- van Baren C, Di Leo Lira P, Elechosa MA, Molina AM, Juárez MA, Martínez A, Perelman S, Bandoni AL. 2014. New insights into the chemical biodiversity of *Minthostachys mollis* in Argentina. **Biochem Syst Ecol** 57: 374 - 383. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2014.09.004>
- Verma N, Shukla S. 2015. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. **J App Res Med Arom Plant** 2: 105 - 113. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.002>