

Evaluación de aceites esenciales comerciales como alternativa para el control de microorganismos patógenos aislados en lechugas post-cosecha

Kevin Alberto Pedraza Barriga¹, Lady Maricell Casallas Rodriguez¹ Patricia Cifuentes Prieto¹

¹ Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Resumen

Las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA) representan un problema global de salud pública, afectando anualmente a más de 600 millones de personas según la Organización Mundial de la Salud (OMS). En Colombia, la incidencia de brotes asociados a hortalizas frescas, particularmente lechugas, ha incrementado en los últimos años, debido a prácticas inadecuadas de manipulación, uso de agua de riego contaminada y deficiencia en procesos de desinfección. Tradicionalmente, el hipoclorito de sodio se ha empleado como agente desinfectante. Sin embargo, su uso puede generar residuos tóxicos y efectos adversos para el consumidor. En este contexto, los aceites esenciales (AE) se presentan como una alternativa natural y sostenible para el control de microorganismos debido a sus metabolitos secundarios, ricos en terpenos y compuestos oxigenados, han demostrado propiedades bioactivas (antibacterianas, antifúngicas y antiparasitarias), por su capacidad de alterar la integridad de la membrana celular y reducir la carga microbiana en alimentos frescos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la efectividad antimicrobiana *in vitro* de aceites esenciales comerciales sobre patógenos aislados de lechugas en etapa postcosecha, con el fin de determinar su viabilidad como alternativa natural de desinfección y contribuir al fortalecimiento de la inocuidad alimentaria.

Palabras clave: Aceites esenciales (AE), Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA), *Cinnamomum* spp, Cinamaldehído,

Abstract

Foodborne diseases (FBD) are a global public health problem, affecting more than 600 million people each year, according to the WHO. In Colombia, the incidence of outbreaks associated with fresh vegetables, especially lettuce, has increased due to poor handling, the use of contaminated irrigation water, and a lack of adequate disinfection. Traditionally, sodium hypochlorite has been used as a disinfectant; however, its use can generate toxic residues and adverse effects for consumers. In this context, essential oils (EO) are presented as a natural and sustainable alternative for the control of microorganisms. Their secondary metabolites, rich in terpenes and oxygenated compounds, have demonstrated antibacterial and antifungal properties, capable of altering the integrity of the bacterial cell membrane and reducing the microbial load in fresh foods. The present study proposes to evaluate the *in vitro* antimicrobial effectiveness of commercial essential oils on pathogens isolated from post-harvest lettuce, in order to determine their viability as a natural disinfection alternative and contribute to strengthening food safety.

Keywords: Essential oils (EO), foodborne diseases (FBDs), *Cinnamomum* spp, *Cinamaldehyde*.

Introducción

Las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA), representan un problema para la salud

pública mundial, con consecuencias que van desde síntomas leves hasta complicaciones graves, incluyendo discapacidad o muerte. Según la Organización Mundial de la Salud

(OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), las ETA afectan a aproximadamente 600 millones de personas cada año, resultando en 420 000 muertes al año (1,2,3), siendo la lechuga, uno de los principales alimentos que pueden generar un alto riesgo en la salud del consumidor, dada la susceptibilidad a la contaminación bacteriana (4) y el aumento en su consumo conllevado por el constante aumento de hábitos saludables a nivel mundial. (5)

En Colombia, durante el 2024, el Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (Sivigila) reportó 661 brotes, afectando a 8,257 personas, año durante el que se encontró el hogar como el sitio con mayor frecuencia de ocurrencia de brotes, a partir de los cuales 72,0 % tuvieron un origen bacteriano y los agentes etiológicos más comúnmente identificados fueron *E. coli*, *Salmonella sp.* *S. aureus* y coliformes fecales (6), junto con otros que pueden estar presentes de forma indirecta debido a contaminación cruzada por riegos con aguas contaminadas junto con malas prácticas de manufactura como lo es *Pseudomonas aeruginosa* (7).

Tradicionalmente existen distintas prácticas de desinfección destacando entre ellas el uso de cloro como principal agente, sin embargo, este puede generar una amenaza por alta toxicidad debido a las trazas de hipoclorito de sodio (NaClO) (8). Diversos estudios coinciden que el hipoclorito de sodio ha demostrado tener limitaciones como desinfectante para los alimentos (9) adicionalmente que no es seguro el lavado con este compuesto en las proporciones (tiempo-concentración) que usaría un ama de casa o un establecimiento proveedor

de comida para vegetales que se consumen crudos. (10)

Por ese motivo, se ha ido incrementando el interés por el uso de alternativas diferentes a los desinfectantes clorados, sobresaliendo los aceites esenciales que han sido investigados como una opción natural para la desinfección de alimentos que se consumen crudos. Su actividad bactericida resalta principalmente la presencia de terpenos como monoterpenos y sesquiterpenos y compuestos oxigenados (alcoholes, aldehídos, cetonas, fenoles, ésteres, entre otros) (11, 12), de igual forma capacidad de penetrar a través de las membranas bacterianas en el interior de la célula induciendo la degradación física en la estructura y asimismo exhibir actividad inhibitoria sobre las propiedades funcionales, hace que los aceites esenciales tengan la posibilidad de actuar sobre agentes infecciosos. (13,14).

A pesar de la evidencia experimental disponible, aún existe un vacío de información respecto a la efectividad de aceites esenciales comerciales aplicados específicamente a patógenos aislados de lechuga en condiciones de post-cosecha, así como su posible uso como alternativa al cloro en prácticas de desinfección habituales. De acuerdo a lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la actividad antimicrobiana *in vitro* de diferentes aceites esenciales comerciales frente a microorganismos patógenos aislados e identificados a partir de hojas de lechuga post-cosecha.

Metodología

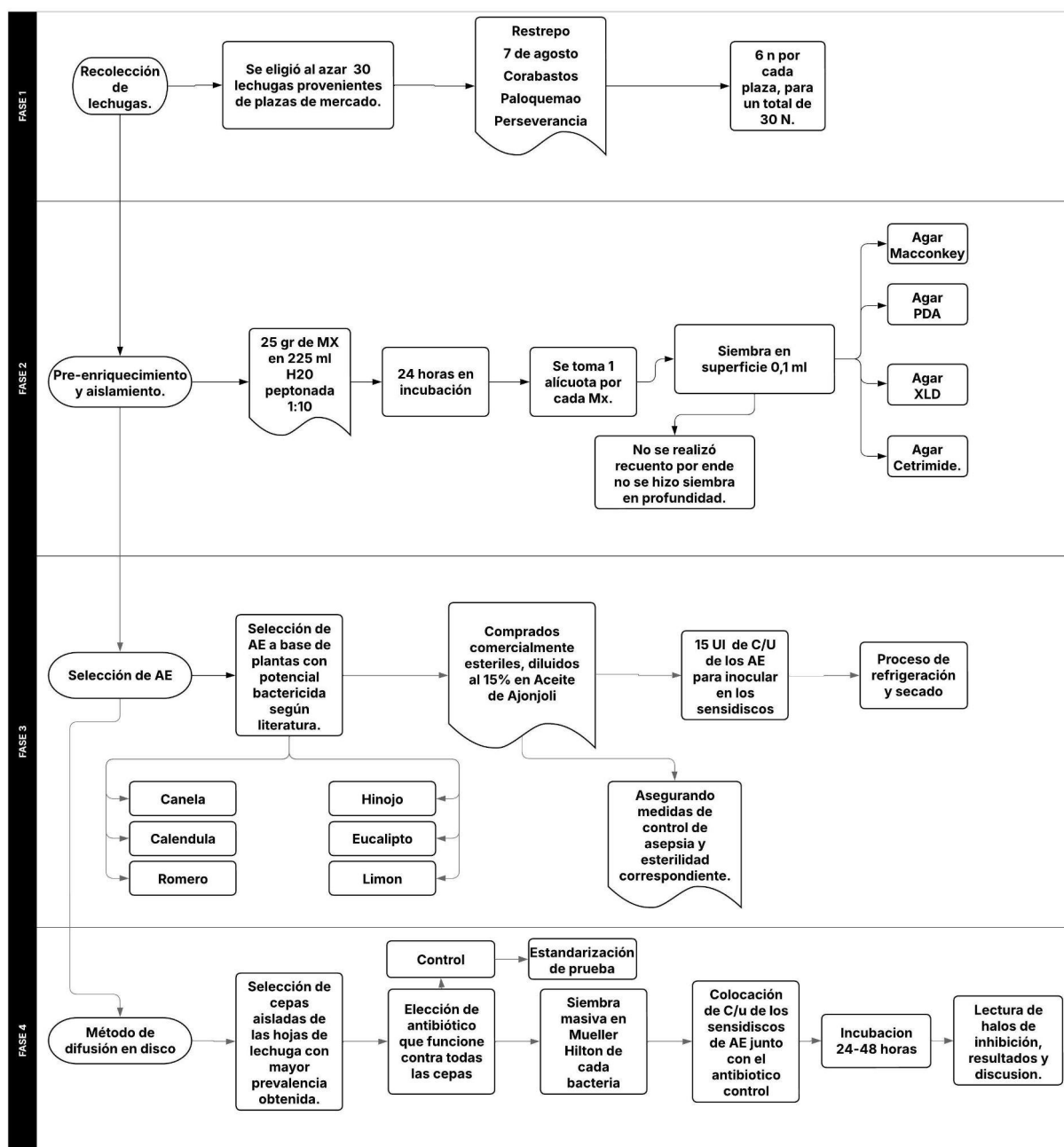


Figura 1. Esquema metodológico, diseño propio.

Recolección de lechuga

En esta primera etapa se recolectaron muestras de lechuga Batavia en cinco plazas de mercado representativas de Bogotá. De cada plaza se seleccionaron al azar 6 unidades, para un total de 30 muestras. El procedimiento se realizó teniendo en cuenta la norma NTC 756, que establece un mínimo de 10 unidades de muestra para ensayos en este tipo de hortalizas. Adicionalmente, la Resolución 1407 de 2022 señala que para los análisis microbiológicos en lechuga deben considerarse al menos 5 muestras, criterio que también fue cumplido en este estudio. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio para su

respectivo análisis (15).

Aislamiento e identificación de Microorganismos

Para el aislamiento de microorganismos de interés en lechuga, se siguió lo establecido en la Resolución 1407 de 2022. En primer lugar, se preparó una dilución 1:10 en agua peptonada como caldo de pre enriquecimiento, con incubación entre 24 y 48 horas. Posteriormente, se realizaron siembras en superficie en agar MacConkey, agar nutritivo, agar cetrimide y Agar Papa Dextrosa (PDA) (16).

La identificación específica de cada

microorganismo obtenido se determinó mediante sistemas automatizados API 20E para determinación de Bacilos gram negativos, identificación rápida de enterobacterias y para bacterias gram negativas no fermentadoras como *Pseudomonas aeruginosa*.

Selección de Aceites esenciales

La selección de los aceites esenciales evaluados en este estudio se fundamenta en su composición química y en el potencial antimicrobiano asociado a sus principales metabolitos descritos en literatura, obtenidos de origen comercial (Aceites con una concentración al 15% diluidos en aceite de ajonjolí).

El AE de canela se caracteriza por su alto contenido de compuestos fenólicos y aldehídos aromáticos, destacándose principalmente el cinamaldehído, el cual ha sido asociado con la alteración de la permeabilidad de la membrana celular bacteriana y la inhibición de enzimas intracelulares. Por su parte, el AE de eucalipto presenta una composición dominada por monoterpenoides, especialmente 1,8-cineol, junto con aldehídos aromáticos como el eucaliptol, compuestos que pueden afectar la integridad de la membrana celular también.(17,18). El AE de limón contiene principalmente terpenos hidrocarburos como el D-limoneno, además de aldehídos con actividad biológica, los cuales pueden generar alteraciones en la membrana lipídica bacteriana. En el caso del romero, su composición incluye monoterpenoides como el α -pineno, y alcanfor, mientras que el hinojo presenta compuestos como el anetol, asociados con efectos antimicrobianos moderados. Finalmente, el aceite esencial de caléndula es rico en sesquiterpenos hidrocarburos y compuestos antioxidantes, como el germacreno, los cuales pueden contribuir a la desestabilización de estructuras celulares microbianas, respaldando su inclusión como alternativa natural para la desinfección de lechugas (19,20).

Impregnación de discos por difusión pasiva

Los AE obtenidos comercialmente de cada planta se impregnaron de manera individual en sensidiscos de papel filtro de celulosa Whatman estériles de 5 mm de diámetro, con condiciones estrictas de bioseguridad, bajo una dosis de 15

ul en cada sensidisco, los cuales fueron sometidos a un proceso de secado durante 15 minutos a temperatura ambiente en condiciones estériles y a un proceso de refrigeración entre 2-8 grados durante 24 horas para ser usados.

Método de difusión en disco

Se prepararon suspensiones bacterianas obtenidas a partir del aislamiento en caldo Muller-Hilton, utilizando de 3 a 4 colonias con el fin de ajustar la turbidez al estándar 0,5 de McFarland. Posteriormente, un hisopo de algodón estéril fue sumergido en la suspensión bacteriana y sembrado por extensión masiva sobre placas de Petri que contenían agar Müller-Hinton. Sobre la superficie inoculada se dispusieron seis discos de papel de filtro estériles (6 mm de diámetro), previamente impregnados con los aceites esenciales seleccionados, ubicados de manera equidistante.

El control positivo fue la Ciprofloxacina, antibiótico de amplio espectro eficaz contra bacterias gram negativas y estandarizado en ensayos por difusión en disco, asimismo se estableció como control negativo un sensidisco únicamente con el diluyente utilizado.

Medición e interpretación de halos

Los halos de inhibición fueron medidos en milímetros a las 24 horas de incubación, utilizando una regla milimetrada. La interpretación de los halos obtenidos con el control positivo (Ciprofloxacina, 5 μ g) se realizó conforme a los criterios establecidos por el CLSI (M100-2024)

Se definió como criterio para halos de inhibición en los AE basado en el diámetro total libre de la zona de crecimiento bacteriano, del cual, un halo de inhibición ≤ 5 mm se consideró sin actividad, 6-10 mm actividad mínima, 11-15 mm actividad intermedia y ≥ 15 mm actividad alta.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en el software R (versión 4.5.2), utilizando RStudio, mediante métodos descriptivos y el cálculo de intervalos de confianza binomiales exactos al 95.

Resultados

La recuperación microbiológica varió según el tipo de medio de cultivo empleado. En agar PDA se aisló *Aspergillus sp.*, correspondiente a hongos filamentosos y levaduras, asociados a contaminación fúngica. El agar MacConkey permitió la recuperación de *Escherichia coli*, indicadora de contaminación fecal. En agar nutritivo se evidenció microbiota mixta

correspondiente a aerobios mesófilos, reflejando la carga microbiana total. No se observó crecimiento en agar XLD, medio selectivo para *Salmonella spp.*. Por su parte, en agar Cetrimide se evidenció crecimiento compatible con *Pseudomonas aeruginosa*, asociada a contaminación en aguas de riegos (Tabla 1

Medio de cultivo	Tipo de medio	Microorganismo recuperado	Grupo microbiológico	Importancia sanitaria
Agar PDA	Selectivo para hongos	<i>Aspergillus sp.</i>	Hongos filamentosos y levaduras	Contaminación fúngica
Agar Macconkey	Selectivo y diferencial	<i>E.coli</i>	Coliformes totales y enterobacterias.	Indicadores de contaminación fecal
XLD	Selectivo y diferencial	Ninguno	<i>Salmonella spp</i> y <i>shigella spp</i>	Patógeno entérico
Cetrimide	Selectivo	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Contaminación en aguas de riego

Tabla 1. Caracterización microbiológica de los aislamientos obtenidos en diferentes medios de cultivo, evidenciando variaciones en las características macroscópicas y microscópicas de las colonias recuperadas. Estos resultados permitieron identificar preliminarmente distintos grupos bacterianos asociados a las muestras analizadas, fuente propia

El análisis microbiológico de las 30 muestras de lechuga permitió la recuperación de un total de 89 aislamientos, evidenciando que cada muestra puede albergar múltiples microorganismos de forma simultánea. Este hallazgo pone de manifiesto la elevada carga y diversidad microbiana presente en este tipo de hortalizas. *Escherichia coli* fue el microorganismo más frecuentemente recuperado, representando el

93.3% de los aislamientos. Le siguieron *Klebsiella spp.* con 83.3% y *Proteus spp.* con 66.7%. Por su parte, *Pseudomonas aeruginosa* presentó una prevalencia del 46.7%, mientras que los aislamientos correspondientes a hongos y levaduras representan el 83.3% del total, así como se evidencia en la **tabla 2**.

Microorganismo obtenido	Muestras positivas (n)	Prevalencia (%)	IC 95%
<i>Escherichia coli</i>	28	93.3	77.93-99.18
<i>Pseudomonas aeruginosa.</i>	14	46.7	28.34-65.67
<i>Klebsiella pneumoniae..</i>	25	83.3	65.28-94.36
<i>Proteus spp..</i>	20	66.7	47.19-82.17
<i>Hongos y levaduras</i>	25	83.3	65.28-94.36

Total de microorganismos recuperados	89	100	----
--------------------------------------	----	-----	------

La Tabla 2.Prevalencia de los microorganismos aislados en las muestras de lechuga, junto con sus respectivos intervalos de confianza al 95%. Los resultados permiten estimar la frecuencia de aparición de cada microorganismo y evaluar la variabilidad de los datos obtenidos, fuente propia

2)



3)

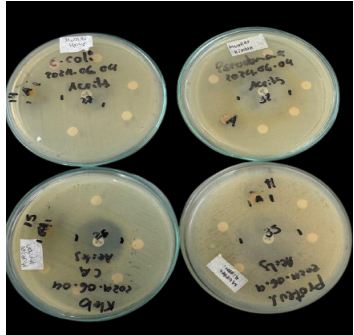


Imagen 2 y 3. Identificación bioquímica de los aislamientos de *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* mediante el sistema API 20 E. Los perfiles obtenidos permitieron confirmar la identidad de los microorganismos recuperados en las muestras analizadas, fuente propia

Este sistema consiste en microtubos que contienen sustratos deshidratados, los cuales, al ser inoculados con la suspensión bacteriana e incubados, generan reacciones bioquímicas específicas evidenciadas por cambios de color. A partir de estas reacciones se obtuvo un perfil bioquímico codificado, que fue interpretado mediante software y bases de datos proporcionadas por el fabricante, permitiendo la identificación precisa de los microorganismos aislados.

La evaluación cualitativa de la actividad antibacteriana evidenció que el aceite esencial de canela presentó efecto inhibitorio frente a *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus spp*. No se observó inhibición frente a *Pseudomonas aeruginosa*. Por su parte, los aceites esenciales de limón, eucalipto, hinojo, romero y caléndula no mostraron actividad antibacteriana frente a las cepas evaluadas como se observa a continuación.

A)



B)

Bacteria	Canela	Limón	Eucalipto	Hinojo	Romero	Caléndula
<i>Escherichia coli</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Proteus spp</i>	+	-	-	-	-	-

Figura 2. Evaluación de la actividad antimicrobiana de aceites esenciales frente a bacterias aisladas de lechuga mediante el método de difusión en agar: (A) evidencia experimental de halos de inhibición en las 4 cepas obtenidas con mayor prevalencia *E.coli*, *Klebsiella spp*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Proteus spp*; (B) actividad antibacteriana cualitativa de los aceites esenciales evaluados, fuente propia.

Aceite esencial	Halo de inhibición (mm)	Interpretación
-----------------	-------------------------	----------------

Canela(<i>Cinnamomum</i> spp.)	11-15 mm	Actividad antimicrobiana intermedia
Limón(<i>Citrus limon</i>)	0 mm	sin actividad antimicrobiana
Romero(<i>Rosmarinus officinalis</i>)	0 mm	sin actividad antimicrobiana
Eucalipto(<i>Eucalyptus</i> spp.)	0 mm	sin actividad antimicrobiana
Caléndula(<i>Calendula officinalis</i>)	0 mm	sin actividad antimicrobiana
Hinojo(<i>Foeniculum vulgare</i>)	0 mm	sin actividad antimicrobiana
Control		
Positivo- Ciprofloxacina	28 mm	sensible
Negativo- Disco sin impregnar	0 mm	sin actividad antimicrobiana

Tabla 3. Los aceites esenciales evaluados presentaron baja o nula actividad antimicrobiana frente a las bacterias aisladas de lechuga mediante el método de difusión en agar. El aceite esencial de canela presentó mayores halos de inhibición (entre 11-14 mm), teniendo en cuenta que un halo de inhibición ≤ 5 mm se consideró sin actividad, 6-10 mm actividad mínima, 11-15mm actividad intermedia y ≥ 15 mm actividad alta. Por otro lado, el control positivo (Ciprofloxacina) evidenció un halo de inhibición claramente definido y sensible, confirmando la validez del ensayo, fuente propia.

Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que *Escherichia coli*, tuvo un 93.3% de prevalencia en las muestras de lechuga analizadas, en concordancia con lo anterior un estudio realizado en Ecuador por Chuquirima et al. (2021), en donde se evaluaron un total de 32 muestras de ensaladas, el 100% presentó *E. coli*, coincidiendo de igual manera con el estudio realizado por Muñoz J et al. (2023), donde se evidenció que *E.coli* presentó una mayor prevalencia, estando en 293.7 de 1100 muestras de ensaladas procesadas (21,22).

Los resultados reportados por Gimenez V et al (2020) realizados en Venezuela reflejan que la contaminación microbiológica con mayor predominancia en lechugas fueron las bacterias gram negativas (7), correlacionado con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde se obtuvo una predominancia del 100% de enterobacterias indicadoras de contaminación principalmente fecal, dejando en evidencia la falta de higiene durante la cadena de manipulación del alimento e indica la mala calidad microbiológica que presentan las lechugas de las distintas plazas de Bogotá

donde fueron recolectadas (23,24)

Como menciona Bautista, et al (2024) *Klebsiella spp* y *Proteus*, hacen parte del grupo de enterobacterias que comúnmente se encuentran en la microbiota intestinal de humanos y animales representando contaminación con materia fecal en las hortalizas y/o prácticas inadecuadas de manipulación, además, estos microorganismos pueden actuar como agentes oportunistas capaces de causar infecciones en humanos (25). De manera similar, en el presente estudio se evidenció la presencia de estas enterobacterias que, aunque presentaron una menor prevalencia en comparación con *Escherichia coli*, siguen siendo relevantes, ya que indican posibles deficiencias en las condiciones inocuas durante la manipulación y procesamiento de las lechugas.

Según el Instituto Nacional de Salud, *Pseudomonas spp*, es un microorganismo común en el ambiente, las heces y el suelo, con una alta capacidad de multiplicarse en sistemas acuáticos (26). Los resultados de la prevalencia de *Pseudomonas aeruginosa* obtenidos en este

estudio fueron del 46.7%, relacionados con los hallazgos obtenidos por Ruiz L , et al (2021) obtenida en 18 lechugas con una prevalencia del 53.3% (27). Teniendo en cuenta lo anterior, muchas de las lechugas comercializadas en Bogotá provienen de la sabana o municipios aledaños, en donde la mayoría de casos se emplea agua de riego proveniente de aguas superficiales (ríos o canales), corroborando y representando un factor de riesgo en la contaminación en el cultivo de hortalizas dada la alta carga microbiana en dichas fuentes hídricas y que son potencialmente patógenas, lo anterior evidencia la importancia de implementar buenas prácticas agrícolas y un control adecuado de la calidad del agua utilizada para riego (28,29).

Tal como se describió a lo largo del presente trabajo, se realizó la evaluación para determinar la capacidad antimicrobiana de aceites esenciales como el de romero, canela, caléndula, limón, eucalipto e hinojo que según la literatura tienen actividad antibacteriana. Como se observa en la **figura 2** el AE de canela fue el único que presentó actividad antibacteriana frente a la mayoría de microorganismos aislados, específicamente contra *E.coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus spp*, sin embargo como se evidencia en la **tabla 3** presentó una actividad antimicrobiana intermedia y con halos de inhibición menor frente al control positivo (ciprofloxacina).

Los aceites esenciales, debido a su naturaleza hidrofóbica, se insertan en la bicapa lipídica bacteriana, alterando la permeabilidad y provocando pérdida de iones esenciales, colapso del gradiente de protones y disrupción de procesos energéticos como la síntesis de ATP, como lo sugiere la acción conjunta que presentan los metabolitos secundarios tales como cinamaldehído, cinamato, ácido cinámico, que en bajas concentraciones, inhibe enzimas implicadas en interacciones con citocinas u otras funciones celulares menos importantes y actúa como inhibidor de la ATPasa, mientras que en concentraciones letales, el cinamaldehído altera la permeabilidad de la membrana generando la muerte celular (30,31). Pastrana Y et al. (2017) determinó en su respectiva investigación que a concentraciones elevadas de aceite esencial de canela se produce efecto inhibitorio sobre *E.coli*, asimismo Ávila J et al. (2023) en su estudio demostró que aunque no se haya obtenido una mayor sensibilidad que el control

positivo utilizado, el AE de canela presenta inhibición frente a bacterias específicamente enterobacterias tal como *E.coli* (32, 33).

Gómez-Sánchez y López-Malo (2009) observaron que aceites esenciales como canela y orégano produjeron zonas de inhibición frente a bacterias evaluadas, evidenciando una respuesta inhibitoria marcada, especialmente en el caso del aceite de canela (34). De manera similar, Santos (2021) describió que ciertos aceites esenciales lograron restringir el crecimiento bacteriano, aunque no todos mostraron el mismo comportamiento, registrándose diferencias notorias en la sensibilidad de los microorganismos evaluados (35). Asimismo, Tariq et al. (2019) señalaron que, aunque numerosos aceites esenciales han demostrado capacidad antimicrobiana en distintos ensayos, su desempeño puede variar ampliamente dependiendo del tipo de bacteria y de las condiciones experimentales, reportando en algunos casos respuestas limitadas o incluso ausencia de inhibición (36). En contraste con lo descrito en estos estudios, en la presente investigación se observó una respuesta antimicrobiana restringida, en la que únicamente el aceite esencial de canela logró generar un efecto inhibitorio intermedio frente a *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus spp.*, mientras que los aceites de limón, romero, eucalipto, hinojo y caléndula no produjeron halos de inhibición detectables, lo que sugiere que la efectividad de estos compuestos puede verse influenciada por las características propias de los aislamientos bacterianos y por las condiciones metodológicas empleadas.

Además se ha demostrado su efectividad frente a *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus spp*, lo que se corrobora con la investigación de Vasquez J. et al.(2017) y Prabuseenivasan S. et al. (2006) quienes coinciden con los resultados obtenidos, evaluando y demostrando la efectividad del AE de canela frente a diversos géneros bacterianos destacando las enterobacterias (37,38). Esto sugiere que el aceite de canela posee un amplio espectro antimicrobiano y un potencial importante para el control de bacterias asociadas a la contaminación de hortalizas.

Pseudomonas aeruginosa se presentó como una cepa resistente frente a todos los AE evaluados mediante el método de difusión en disco. Es un microorganismo caracterizado por presentar una resistencia intrínseca, relacionada con una

membrana externa que posee permeabilidad restringida y sistemas de bombas de flujo (efflux) (39), asimismo, posee mecanismos de resistencia adquiridas con mutaciones genéticas que se relacionan con la producción de enzimas que le confieren una elevada capacidad de supervivencia frente a diversos compuestos antimicrobianos (40).

El AE de limón presenta grandes cantidades de monoterpenos tales como D-limoneno, que según literatura descrita por Espinel A (2020) (41) reportó ser un aceite con actividad capaz de inhibir bacterias principalmente gram positivas, así como otros estudios donde confirman que aceites utilizados como el eucalipto y el romero poseen compuestos fenólicos como activos principales α -pineno, alcanfor, 1-8 cineol y eucaliptol, que en conjunto con la naturaleza lipídica del aceite permitan penetrar la pared celular bacteriana (42,43). Sumado a lo anterior los AE de hinojo y caléndula, poseen compuestos activos con posible capacidad inhibitoria como el tran-atenolol y el germacreno respectivamente, fueron reportados por Naaz S et al. (2022) y Rodríguez V. (2019) quienes concluyeron que los dos aceites presentan un posible potencial bactericida (44,45)

En contraste con lo anterior según los resultados evidenciados en la **tabla 3**, los aceites utilizados en esta investigación demostraron tener una actividad antimicrobiana nula, La ausencia de halos observados podría estar asociada a la presencia de la membrana externa en bacterias Gram negativas, la cual actúa como barrera frente a compuestos hidrofóbicos presentes en los aceites esenciales, adicionalmente se utilizaron en los estudios ya mencionados cepas ATCC previamente identificadas para realizar el ensayo,

Conclusión

Las lechugas analizadas presentaron una elevada contaminación microbiológica, evidenciada por el aislamiento frecuente de *Escherichia coli* y otras enterobacterias indicadoras de contaminación fecal, lo que evidencia deficiencias en las prácticas de higiene durante la producción, manipulación y comercialización. Estos hallazgos ponen de manifiesto el riesgo sanitario asociado al consumo de hortalizas crudas y resaltan la importancia de fortalecer las buenas prácticas agrícolas y de manufactura, así como la

microorganismos que por condiciones de laboratorio no están expuestas a condiciones de supervivencia, mientras que en esta investigación, la obtención de los microorganismos está relacionada con el uso de cepas silvestres (wild strains) aisladas directamente de la lechuga. Estas cepas ambientales suelen presentar mecanismos naturales y adaptativos que incrementan su tolerancia frente a compuestos antimicrobianos. Teniendo en cuenta lo anterior se resalta el trabajo de Hyldgaard et al. (2012) quienes señalan que la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales puede variar dependiendo del tipo de bacteria, pero también por factores como la competitividad microbiana, estrés ambiental, y la composición de la matriz alimentaria, que puede ofrecer al microorganismo una protección natural, explicando así la ausencia de halos de inhibición en algunos ensayos (46).

Es importante considerar también algunas limitaciones metodológicas que pueden haber influido en la actividad antimicrobiana observada. El método de difusión en agar, aunque ampliamente utilizado, presenta restricciones cuando se evalúan aceites esenciales debido a su naturaleza hidrofóbica y volatilidad, lo que limita su adecuada difusión en el medio sólido y puede subestimar su efecto inhibitorio real (47). En estas condiciones, la baja efectividad observada sugiere que el potencial antimicrobiano de los aceites esenciales no depende únicamente de su composición, sino de limitaciones metodológicas y biológicas que condicionan su efecto, haciendo necesaria su optimización antes de considerarlos una alternativa real en desinfección de alimentos.

aplicación de métodos adecuados de desinfección que contribuyan a mejorar la calidad microbiológica de estos alimentos.

La evaluación de los aceites esenciales comerciales mostró una actividad antimicrobiana limitada frente a las bacterias aisladas, siendo el aceite esencial de canela el único que presentó un efecto inhibitorio intermedio frente a *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus spp.*, mientras que los demás aceites no evidenciaron actividad bajo las condiciones experimentales utilizadas. La

baja efectividad observada podría estar relacionada tanto con las características de las cepas aisladas directamente de las muestras, como con las limitaciones propias del método de difusión en agar, especialmente al evaluar compuestos de naturaleza hidrofóbica como los aceites esenciales.

A pesar de lo anterior, el aceite esencial de canela representa un candidato de interés para futuras investigaciones, debido a su efecto

inhibitorio frente a enterobacterias de importancia sanitaria. En este sentido, se recomienda continuar con estudios que evalúen concentraciones mayores, formulaciones alternativas o métodos complementarios que permitan determinar con mayor precisión su potencial como agente antimicrobiano natural en la desinfección de hortalizas y en el fortalecimiento de la inocuidad alimentaria.

Referencias Bibliográficas:

1. Ministerio de Salud y Protección Social. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR ALIMENTOS ETA ¿Qué son las enfermedades transmitidas por alimentos? 2019 [cited 2025 May 23]; Available from: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ET/abece-et-a-final.pdf>
2. OMS. Enfermedades transmitidas por alimentos - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud [Internet]. 2020 [cited 2025 May 23]. Available from: <https://www.paho.org/es/temas/enfermedades-transmitidas-por-alimentos>
3. OMS OPS. Inocuidad de los alimentos [Internet]. 2024 [cited 2025 May 23]. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
4. Rodríguez Q. M, Zapata S. M. E, Solano M. M. A, Lozano B. D, Torrico F, , Torrico R. M. C. Evaluación de la contaminación microbiológica de la lechuga (lactuca sativa) en la cadena alimentaria, provincia de Quillacollo, Cochabamba, Bolivia 2015. Gaceta Médica Boliviana [Internet]. 2015;38(2):31-36. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445677128005>
5. Asociación Hortifrutícola de Colombia (ASOHOFRUCOL). Boletín de Exportaciones del Sector Hortifrutícola 2024. Bogotá: ASOHOFRUCOL; 2024 [citado 2025 Oct 26]. Available from: https://www.asohofrucol.com.co/img/archivosGeneralesFiles/3346Boletin_Anual_De_Exportaciones_2024.pdf
6. Instituto Nacional de Salud (Colombia). Boletín Epidemiológico Semanal (BES) [Internet]. 2025 [cited 2025 May 23]. p. 1–38. Available from: https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2025_Boletin_epidemiologico_semana_5.pdf
7. Giménez Viviana; et al.. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y EFECTO DEL LAVADO EN LECHUGA. 2020 [cited 2025 Oct 25]; Available from: <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2851/1779>
8. Aguilera D, Hidrobo A, Venegas J. Toxicidad del hipoclorito de sodio y compuestos de amonio cuaternario en seres humanos. Una revisión sistemática en época de COVID-19. Toxicol [Internet]. 2023 [cited 2025 May 23];53–66. Available from: <https://rev.aetox.es/wp/wp-content/uploads/2023/07/rev.toxicol-40.1-56-69.pdf>
9. Anais M. Luna-Rojo et al. Eficiencia del hipoclorito de sodio y ácido acético como desinfectantes de mangos contaminados con Escherichia coli O157:H7, Listeria monocytogenes, Salmonella Typhimurium y Shigella flexneri. [Internet]. [cited 2025 Oct 25]. Available from: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icap/article/download/303/4244?inline=1>
10. Tanaro J.D.; Piaggio M.C.; Gasparovic A.M.C.; Lound L.H. Vista de Lavado y desinfección con hipoclorito de sodio de lechuga contaminada con Escherichia coli O157:H7 | Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento. Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento [Internet]. 2019 [cited 2025 May 23];19:247–54. Available from: <https://pcient.uner.edu.ar/index.php/Scdyt/article/view/663/680>
11. Dra Julia Gutiérrez De Piñeres S, Adrián Zambrano Tamayo E, Josep Vergé Oms J. Aceites Esenciales y Plantas [Internet]. [cited 2025 Oct 25]. Available from: <http://biblioteca.sena.edu.co/coleccion/1.html.Tel>
12. Jaramillo V. Evaluación de propiedades antibacterianas y antifúngicas de aceites esenciales [Internet]. 2020 [cited 2025 Oct 25]. Available from: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/a>

- pi/core/bitstreams/93171e9b-7da6-4c57-8cd3-007fa244239c/content
13. Belen Maria, Ester Alfonsina, Serra Monica. Vista de Actividad Antimicrobiana de Diversos Aceites Esenciales en Bacterias Benéficas, Patógenas y Alterantes de Alimentos. *Revista Tecnología y Ciencia* [Internet]. 2020 [cited 2025 May 24];37:92–100. Available from: <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/566/477>
 14. Nazzaro F, Fratianni F, de Martino L, Coppola R, de Feo V. Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria. *Pharmaceuticals* [Internet]. 2013 Nov 25 [cited 2025 Oct 25];6(12):1451. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3873673/>
 15. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Norma técnica colombiana NTC 756: Frutas y hortalizas frescas: toma de muestras - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) - Google Libros [Internet]. 1977. Available from: https://books.google.com.co/books/about/Norma_tecnica_colombiana_NTC_756.html?id=ADKstAEACAAJ&redir_esc=y
 16. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL RESOLUCIÓN. RESOLUCIÓN 1407 DE 2022. 2022 [cited 2025 Oct 25]; Available from: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%201407%20de%202022.pdf
 17. Martínez A. ACEITES ESENCIALES. 2003 [cited 2025 Oct 25];1. Available from: https://med-informatica.com/OBSERVAM/ED/Descripciones/AceitesEsencialesUdeA_esencias2001b.pdf
 18. Servicio nacional de aprendizaje-SENA. ACEITES ESENCIALES extraccion, usos y aplicaciones [Internet]. 2024 [cited 2026 Mar 18]. 1–133. Available from: https://zajuna.sena.edu.co/pdfs/campesena/Aceites%20esenciales%20digital_compressed.pdf
 19. Abdellaoui M, Bouhlali E, Dine T, Derouich M, El-Rhaffari L. Essential oil and chemical composition of wild and cultivated fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): A comparative study. *South African Journal of Botany*. 2020 Dec 1;135:93–100.
 20. del Mar L, Miguel-Chávez S. Aceite esencial de *Calendula officinalis* L. y su uso antibacterial contra *Salmonella enterica* y *Escherichia coli*. [cited 2026 Mar 18]; Available from: <https://doi.org/10.54767/ad.v3i1.159>
 21. Jonathan Muñoz Sepúlveda, María Fernanda Giraldo Trujillo, Michelle Muriel Otálvaro. Prevalencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. en muestras de ensaladas analizadas por el laboratorio SEILAM S.A.S durante los años 2018, 2019 y 2020 [Internet]. 2023 [cited 2025 Oct 25]. Available from: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/ca70ce25-f965-4bd5-8b40-cf1245fd12af/content>
 22. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS CARRERA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES. Detección de *Escherichia coli*, coliformes totales y su susceptibilidad antibiótica en alimentos expendidos en restaurantes y puestos de venta libre alrededor de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Central del Ecuador durante los meses de diciembre - febrero 2019-2020.
 23. Cardozo Guzman, Et Al. 3-22 DETERMINATION OF PATHOGENIC MICROORGANISMS OF CHIRIUCHO AND HORNADO LETTUCE EXPENDED IN THE RIOBAMBA CANTON. *Reciena* [Internet]. 2024;4:11–20. Available from: <https://reciena.esPOCH.edu.ec/index.php/reciena/article/view/8>
 24. Alvarez Aguirre, Et Al. Determinación de coliformes totales, fecales y *E. coli* O157H7 en lechuga Iceberg. *Acta de ciencia en salud*. 2021;1–4; Available from: <https://actadecienciaensalud.cutonala.udg.mx/index.php/ACS/article/view/205>
 25. Lizett K, Romero B, Cruz EH, Autónoma De Guerrero U, Elizabeth M, Navarrete C. Detección de Enterobacterias en Hortalizas Expendidas en Mercados Populares de dos Municipios de Guerrero. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [Internet]. 2024 Jan 15 [cited 2026 Mar 18];8(6):7737–51. Available from: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/15459/22027>
 26. Lucía Ospina Martínez M, del Pilar Zambrano Hernández C, por Johanna Lizeth Moncada Barragán Fabiola Rojas Baquero E, Catherine Sánchez Alfonso A. GUÍA DE LABORATORIO PARA LA VIGILANCIA Y CONTROL DE CALIDAD BACTERIOLÓGICO EN MUESTRAS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.
 27. Ruiz-Roldán L, Rojo-Bezares B, Lozano C, López M, Chichón G, Torres C, et al. Occurrence of *Pseudomonas* spp. in raw vegetables: Molecular and phenotypical analysis of their antimicrobial resistance and virulence-related traits. *International Journal of Molecular Sciences* [Internet]. 2021 Dec 1 [cited 2025 Oct 25];22(23):12626. Available from:

- <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/23/12626>
28. Bertad L, Yineth O, Castro P. MANUAL POSCOSECHA DE BRÓCOLI, ESPINACA Y LECHUGA EN LA SABANA DE BOGOTÁ Diagnóstico, manejo y tecnologías poscosecha Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural República de Colombia.
 29. Campos C et al. EVALUACIÓN DEL RIESGO SANITARIO EN UN CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) DEBIDO AL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES SIN TRATAR EN EL CENTRO AGROPECUARIO MARENGO (CUNDINAMARCA, COLOMBIA)1 [Internet]. 2014 [cited 2026 Mar 31]. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/biosa/v14n1/v14n1a08.pdf>
 30. Casallas LM. Alternativa terapéutica en la industria avícola: uso de aceites esenciales sobre *Salmonella* no móviles aisladas de aves de corral. 2022 [cited 2025 Oct 25]; Available from: <https://repositorio.universidadmayor.edu.co/server/api/core/bitstreams/cfe6a3af-219c-4c04-9002-b2af7d4a2c75/content>
 31. Nazzaro F, Fratianni F, de Martino L, Coppola R, de Feo V. Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria. *Pharmaceuticals* [Internet]. 2013 Nov 25 [cited 2025 Oct 25];6(12):1451. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3873673/>
 32. Avila J et al. “Cuantificación de la actividad antibacteriana de aceites esenciales frente a *Escherichia coli* ATCC 25922 y *Escherichia coli* portadora de betalactamasas de espectro extendido.” [Internet]. 2023 [cited 2026 Mar 20]. Available from: <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e40baf86-2245-4794-9c52-e8a334d82457/content>
 33. Pastrana-Puche I, Durango-Villadiego AM. EFECTO ANTIMICROBIANO DEL CÍVICO Y LA CANEIA SOBRE PATÓGENOS ANTIMICROBIAI EFFECT OF CÍVICO AND CINNAMON ON PATHOGENS EFEITO ANTIMICROBIANO DE CRAVO E CANEIA EM ORGANISMOS PATOGÉNICOS. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2017;15(1):56–65. doi:10.18684/BSAA(15)56-65
 34. Gómez -Sánchez AI, López -Malo A. Potencial antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*) y canela (*Cinnamomum zeylanicum*). *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 2009;3(1):33–45.
 35. IVÁN MARCELO SALTOS URGILES. EFECTO ANTIMICROBIANO DEL ACEITE ESENCIAL DE CANELA (*Cinnamomum Zeylanicum*) EN PRODUCTOS CÁRNICOS [Internet]. 2021 [cited 2026 Apr 26]. Available from: <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/827059d0-7d03-4f4b-aa9d-cb621cb0383d/content>
 36. Atki Y el, Aouam I, Kamari F el, Taroq A, Nayme K, Timinouni M, et al. Antibacterial activity of cinnamon essential oils and their synergistic potential with antibiotics [Internet]. 2019. doi:10.4103/japtr.JAPTR_366_18
 37. Juan Carlos Vázquez-Ucha, Marta Martínez-Gutián, Kelly Conde-Pérez, Laura Alvarez-Fraga, C Fernández-Varela, et al.. Estudio de la actividad antimicrobiana de aceites esenciales (AES) en combinación con antibióticos frente a *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa*. 22. Congreso Nacional SEIMC, Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica, May 2018, Bilbao, España. pp.1. fñhal-05045020f
 38. Prabuseenivasan S, Jayakumar M, Ignacimuthu S. In vitro antibacterial activity of some plant essential oils. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 2006 6:1. 2006 Nov 30;6(1):39-. doi:10.1186/1472-6882-6-39 PubMed PMID: 17134518.
 39. Alharbi MS, Moursi SA, Alshammari A, Aboras R, Rakha E, Hossain A, et al. Multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*: Pathogenesis, resistance mechanisms, and novel therapeutic strategies. *Virulence*. 2025;16(1):2580160. doi:10.1080/21505594.2025.2580160 PubMed PMID: 41170650.
 40. Clínica M, Espinoza Pesantez DI, Francisco G, Sanchez E. Artículo de Revisión Enzymatic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*, clinical and laboratory aspects [Internet]. [cited 2026 Mar 20]. Available from: www.revinf.cl
 41. Espinel obrego. UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DEL ACEITE ESENCIAL DE TRES ESPECIES DE Citrus limon CONTRA *Escherichia coli* Y *Staphylococcus aureus*.
 42. Agudelo Y et al. Actividad antimicrobiana de aceites esenciales de *Rosmarinus Officinalis* en diferentes muestras [Internet]. 2017 [cited 2026 Apr 1]. Available from: <https://repositorio.juanncorpas.edu.co/serve/api/core/bitstreams/5eb1eb38-f143-4507->

- [a299-fe4219595d5e/content](#)
43. Mayra Montero-Recalde et al. Rev Inv Vet Perú 2019; 30(2): 932-938 [Internet]. 2019 [cited 2026 Apr 1]. Eficacia antimicrobiana del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus* spp) sobre cepas de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* subsp. *aureus*. Available from: <https://scispace.com/pdf/eficacia-antimicrobiana-del-aceite-esencial-de-eucalipto-3ap531aa8n.pdf>
44. Sheeba Naaz et al. Antimicrobial and antioxidant activities of fennel oil [Internet]. 2022 [cited 2026 Apr 1]. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10326323/pdf/97320630018795.pdf>
45. Rodríguez V et al. EFECTO ANTIMICROBIANO DEL ACEITE ESENCIAL DE *Calendula officinalis* L., SOBRE CEPAS DE *Salmonella enterica* y *Escherichia coli* CAMPUS MONTECILLO PROGRAMA DE POSTGRADO EN BOTÁNICA.
46. Hyldgaard M, Mygind T, Meyer RL. Essential oils in food preservation: Mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Front Microbiol.* 2012 Jan 25;3(JAN):20029. doi:10.3389/fmicb.2012.00012 PubMed PMID: 22291693.