



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
COLEGIO DE INGENIERÍA QUÍMICA

“OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL MEDIANTE HIDRODESTILACIÓN DE PLANTAS UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA”

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

PRESENTA
ASTRID ALTAMIRANO LUIS

DIRECTOR DE TESIS
DRA. LILIA ALEJANDRA CONDE HERNÁNDEZ

ASESORES
**MAGÍN IDELFONSO TORREBLANCA RAMÍREZ
MARÍA DOLORES GUEVARA ESPINOZA**

PUEBLA, PUE., NOVIEMBRE 2024

Contenido

Introducción	1
Objetivo general	4
Objetivos Específicos	4
Hipótesis	4
1. Marco Teórico.....	5
1.1 Aceite esencial.....	5
1.1.1 Factores que Afectan la Composición de los Aceites Esenciales	7
1.1.2 Clasificación	7
1.1.3 Especies utilizadas.....	9
1.1.4 Propiedades.....	15
1.1.5 Aplicaciones	17
1.1.6 Crecimiento del Mercado Global de Aceites Esenciales	20
1.2 Métodos de extracción	22
1.2.1 Hidrodestilación	23
1.2.2 Extracción con solventes.....	26
1.2.3 Extracción con fluidos supercríticos (SFE)	26
1.2.4 Prensado en frío	27
1.2.5 Destilación al Vacío.....	27
1.3 Actividad antioxidante	28
1.3.1 Métodos de obtención de actividad antioxidante.....	28
2. Metodología	32
2.1 Hidrodestilación.....	33
2.2 Método DPPH.....	33
3. Resultados	36
Discusión de resultados	36
3.1 Rendimiento	36
3.2 Actividad antioxidante	39
Conclusiones	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de aceite esencial obtenido en ambas pruebas	36
Tabla 2 Porcentaje de inhibición de la primera prueba.....	39
Tabla 3 Porcentaje de inhibición de duplicado	40
Tabla 4 Promedio de actividad antioxidante de proyecto y en literatura	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama general de metodología	32
Figura 2 Equipo de destilación tipo Clevenger	33
Figura 3 Espectrofotómetro	34
Figura 4 Gráfico de promedio de rendimiento obtenido y su desviación estandar	37
Figura 5 Gráfico de comparación de porcentaje de inhibición	41
Figura 6 Gráfico de rendimiento y actividad antioxidante	43

DEDICATORIA

A mis padres

Introducción

Los aceites esenciales son compuestos naturales extraídos de plantas aromáticas y medicinales, que han sido utilizados por diversas civilizaciones y culturas a lo largo de la historia. Por ejemplo, civilizaciones como la egipcia, griega e india empleaban estos compuestos en rituales religiosos, en la preparación de medicinas y cosméticos, y como agentes conservantes y aromatizantes.

En la actualidad, los aceites esenciales siguen siendo objeto de gran interés en sectores como la industria farmacéutica, cosmética, alimentaria y agrícola esto por sus sus propiedades químicas únicas, como la actividad antimicrobiana, antioxidante, antiinflamatoria y sedante, entre otras.

Estos también definidos como mezclas complejas de metabolitos secundarios, los aceites esenciales están compuestos principalmente por terpenos, terpenoides y otros compuestos aromáticos derivados de fenilpropanoides (Bakkali et al., 2008). Estas sustancias, que otorgan a las plantas su aroma característico, son producidas como mecanismos de defensa contra herbívoros, patógenos y condiciones ambientales adversas, además de cumplir un papel en la atracción de polinizadores.

La obtención de aceites esenciales puede hacerse mediante diversos métodos, entre los principales que son la destilación por arrastre de vapor, la hidrodestilación y la extracción con solventes. Destacando entre la mayoría, la hidrodestilación la cual es una de las técnicas más antiguas para la obtención ya que es un procedimiento simple y eficaz, que se suele adaptar a diferentes tipos de plantas.

Este proceso consiste en que la materia prima, en este caso la planta se someta a calor en presencia de agua o vapor, lo que genera que se liberen sus compuestos volátiles. Posteriormente, estos vapores se condensan y se separan del agua para obtener el aceite esencial en su forma pura

Un aspecto de suma importancia que se tiene en el estudio de los aceites esenciales es el rendimiento de este del proceso de extracción, ya que este determina no solo la viabilidad económica de la producción, sino también la eficiencia en la utilización de la materia prima. El rendimiento puede variar considerablemente dependiendo de factores como la especie vegetal, la parte de la planta utilizada (hojas, flores, tallos o raíces), el estado de madurez de la planta, el método de extracción y las condiciones operativas. Por ejemplo, investigaciones realizadas con plantas como el romero (*Rosmarinus officinalis*) han mostrado rendimientos que oscilan entre el 0.1 % y el 2 %, dependiendo de las condiciones de cultivo y procesamiento (Santos et al., 2019). Este tipo de diferencias son las que resaltan la importancia de optimizar los parámetros de extracción, como la relación planta-agua, la temperatura y el tiempo de destilación, para maximizar y optimizar la obtención del aceite esencial y esto sin que le gue a afectar su calidad.

Además de su rendimiento, la calidad de los aceites esenciales está muy relacionada con su composición química, la cual esta ligada a sus propiedades funcionales. Entre estas propiedades, la actividad antioxidante ha sido de suma importancia en los últimos años debido a su potencial para combatir el estrés oxidativo, un proceso implicado en el desarrollo de diversas enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes y enfermedades neurodegenerativas (Kalantari et al., 2022). Los aceites esenciales ejercen su actividad antioxidante principalmente a través de la neutralización de radicales libres. La presente investigación se centra en la obtención de aceites esenciales mediante hidrodestilación utilizando plantas adquiridas en condiciones comerciales.

Los principales beneficiarios de esta investigación serían la industria cosmética, alimentaria y farmacéutica, ya que optimizar los procesos de extracción permitiría la obtención de productos de mayor calidad y valor comercial. También se beneficiarían los productores de aceites esenciales, que podrían mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de sus operaciones al aprovechar al máximo los recursos naturales. Además, los consumidores finales obtendrían productos más

efectivos y naturales, con beneficios mejorados para la salud y la preservación de alimentos. También, el medio ambiente se vería favorecido al optimizar el uso de recursos vegetales, disminuyendo el desperdicio y promoviendo prácticas más sostenibles.

Objetivo general

Obtener aceite esencial mediante hidrodestilación de *Origanum vulgare*, *Salvia officinalis*, *Cinnamomum verum*, *Laurus nobilis*, *Cuminum cyminum* L., *Syzygium aromaticum* y *Pimpinella anisum* y la determinación de su actividad antioxidante

Objetivos Específicos

- Obtener aceite esencial de las siete plantas ocupadas
- Determinar cuál de las plantas utilizadas tiene mayor rendimiento de aceite esencial
- Determinar el aceite esencial con más actividad antioxidante

Hipótesis

Las diferentes especies vegetales presentarán variaciones significativas en el rendimiento de aceite esencial y en su actividad antioxidante durante el proceso de hidrodestilación.

1. Marco Teórico

1.1 Aceite esencial

El término "aceite esencial" proviene de la antigua creencia de que estos extractos representaban la esencia o el "alma" de las plantas. En el contexto químico, no son aceites en el sentido lipídico, ya que carecen de ácidos grasos y triglicéridos. Su naturaleza "oleosa" se debe a su insolubilidad en agua y a su textura ligeramente viscosa.

En la industria, los aceites esenciales también son denominados "esencias" o "volátiles vegetales". Estas sustancias se diferencian de otros extractos de plantas debido a su volatilidad y a su capacidad de generar olores intensos y característicos (Buchbauer, 2016).

Los aceites esenciales, también conocidos como aceites volátiles, son mezclas complejas de compuestos orgánicos lipofílicos, con bajo peso molecular, que se diferencian de los aceites fijos (mezclas lipídicas, generalmente de semillas, como el aceite de ricino, la manteca de cacao y el aceite de linaza) debido a su naturaleza altamente volátil. Los aceites esenciales son relativamente fluidos, de olor fuerte y poco solubles en agua. Típicamente incoloros o ligeramente coloreados, son estables en presencia de luz, calor y aire, además de tener un aroma intenso y agradable (Vieira et al., 2016). Estos componentes naturales se derivan de plantas aromáticas y medicinales, abundantes especialmente en las familias Myrtaceae, Rutaceae y Lauraceae, y se organizan en forma de gotas entre las células. Pueden actuar como hormonas, reguladores y catalizadores. Algunos informes en la literatura describen su función como un mecanismo para ayudar a la planta a adaptarse al entorno, habiendo estimulado su producción en situaciones de estrés. Algunas plantas que viven en climas muy calurosos, como en el desierto, utilizan aceites esenciales para protegerse del sol. Otro ejemplo es la tenue nube de aceites

esenciales que se forma alrededor de arbustos de mirra y ládano para filtrar los rayos del sol y refrescar el aire alrededor de la planta. (Vieira et al., 2016).

La Organización Internacional de Normalización (ISO) define el aceite esencial como un producto obtenido a partir de una materia prima natural de origen vegetal, extraído mediante destilación por vapor, por procesos mecánicos a partir del epicarpio de los cítricos o mediante destilación en seco, después de separar la fase acuosa. Los aceites esenciales (AE) están compuestos por metabolitos secundarios de las plantas que son lipofílicos y altamente volátiles, con una masa molecular inferior a 300, que se pueden separar físicamente de otros componentes o tejidos membranosos de la planta. Los AE se consideran una alternativa ecológica en los campos nutricional, farmacéutico y agrícola debido a sus propiedades antimicrobianas (antibacterianas, antifúngicas y antivirales), insecticidas y antioxidantes. (Stoica et al, 2019)

Como se mencionó anteriormente, los aceites esenciales se originan del metabolismo secundario de las plantas, constituidos por elementos químicos complejos. la función específica de estos aceites en las plantas aún se desconoce; sin embargo, se cree que durante su desarrollo, las plantas superiores sintetizan terpenoides esenciales para el crecimiento, incluyendo giberelinas, pigmentos y esteroides. No obstante, otras clases de terpenos en las plantas tienen funciones relacionadas con su volatilidad, actuando en la atracción de insectos y otros agentes fertilizadores, en la protección contra depredadores, patógenos, la pérdida de agua y el aumento de la temperatura, así como llevando a cabo funciones ecológicas como inhibidores de la germinación. En las plantas aromáticas, los aceites esenciales se encuentran fácilmente en las flores, hojas, corteza, rizomas y frutos (Vieira et al., 2016).

Químicamente, los aceites esenciales son mezclas complejas que incluyen moléculas como monoterpenos, sesquiterpenos, fenilpropanoides, ésteres, aldehídos, cetonas y alcoholes. Estas moléculas son responsables de las propiedades organolépticas de los aceites, como sus aromas característicos, y

también de sus actividades biológicas. Aunque la composición química varía ampliamente entre especies, incluso entre variedades de una misma planta, esto depende de factores como la genética, las condiciones climáticas, el suelo y el método de obtención utilizado (Burt, 2004).

1.1.1 Factores que Afectan la Composición de los Aceites Esenciales

La composición química de los aceites esenciales no es constante y puede variar significativamente debido a:

- ✓ Genética: Diferencias intraespecíficas, como las quimiovariedades, afectan el perfil de compuestos.
- ✓ Condiciones ambientales: Factores como la luz, la temperatura, la humedad y el tipo de suelo influyen en la biosíntesis de los aceites esenciales.
- ✓ Estacionalidad y madurez: Las concentraciones y composiciones químicas pueden variar según la época de recolección y el estado de madurez de la planta.
- ✓ Métodos de procesamiento: Las técnicas de extracción, como la hidrodestilación o la extracción con fluidos supercríticos, también impactan en el perfil químico de los aceites esenciales.

1.1.2 Clasificación

Los aceites esenciales se obtienen de diversas especies vegetales que producen compuestos volátiles en estructuras especializadas como glándulas, tricomas o canales resiníferos. Estas sustancias son fundamentales para las plantas, ya que actúan como mecanismos de defensa contra herbívoros, patógenos, o como agentes de atracción para polinizadores. Según la parte de la planta de donde se

extraen, los aceites esenciales presentan variaciones significativas en composición y propiedades.

Existe una clasificación de aceites esenciales según su origen botánico, que es la que se desea priorizar debido a los utilizado en el presente proyecto, que es la siguiente:

- Aceites esenciales de hierbas y especias

Las hierbas y especias han sido utilizadas tradicionalmente tanto en la cocina como en la medicina debido a sus propiedades aromáticas y terapéuticas. Estas plantas producen aceites esenciales ricos en compuestos fenólicos, terpenos y aldehídos.

Los aceites de estas plantas son ampliamente usados en la conservación de alimentos, fabricación de productos cosméticos y como tratamientos naturales en fitoterapia, en este tipo de aceite esencial se encuentran las 7 especies utilizadas en el presente proyecto

- Aceites esenciales de flores

Las flores son una de las fuentes más valoradas de aceites esenciales debido a sus aromas distintivos, asociados con la presencia de compuestos como monoterpenos y ésteres.

Estos aceites son ampliamente utilizados en aromaterapia, cosmética de alta gama y formulaciones para la relajación y el equilibrio emocional.

- Aceites esenciales de frutas cítricas

Las cáscaras de frutas cítricas son una fuente abundante de aceites esenciales que contienen altos niveles de monoterpenos como el limoneno.

Los aceites esenciales cítricos se usan como conservantes naturales, aromatizantes en alimentos y en productos para limpieza ecológica.

- Aceites esenciales de maderas

Estos aceites son menos volátiles y contienen compuestos como sesquiterpenos, que les confieren propiedades duraderas y profundas.

Estos aceites esenciales son altamente valorados en perfumería, meditación y en aplicaciones terapéuticas.

- Aceites esenciales de resinas y exudados

Provenientes de plantas que exudan sustancias resinosas, estos aceites suelen ser ricos en compuestos terpénicos de alto peso molecular.

Se utilizan en rituales religiosos, formulaciones cosméticas y tratamientos para enfermedades inflamatorias.

1.1.3 Especies utilizadas

En el presente trabajo se hará uso de siete diferentes tipos de plantas para la obtención de su aceite esencial, siendo estas las siguientes:

Origanum vulgare (orégano)

El género *Origanum* (Lamiaceae) es una hierba anual, perenne (que vive más de dos años) y arbustiva que se encuentra extensamente en la región mediterránea. *Origanum* se clasifica en tres grupos, diez secciones y treinta y ocho especies (seis subespecies y diecisiete híbridos) . Dos variedades de importancia comercial, *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (orégano griego) y *Origanum onites* (orégano turco), también se encuentran entre las plantas aromáticas más comercializadas y utilizadas. Las propiedades saborizantes del orégano están principalmente asociadas con sus sustancias aromáticas, especialmente su aceite esencial (AE). El carvacrol es el principal compuesto del aceite volátil en las hierbas de orégano, responsable del característico aroma "a orégano". Otros compuestos que

predominan en los aceites esenciales de los miembros del género son el timol, el para-cimeno y el gamma-terpineno. Varios estudios han reportado que el aceite de orégano tiene un poderoso efecto antimicrobiano contra bacterias, levaduras y hongos. Además, se sabe que los aceites esenciales extraídos de *Origanum* sp. poseen actividades citotóxicas contra células cancerosas, protegen las células de la degradación por especies reactivas de oxígeno (ERO) y generan un efecto biológico antioxidante y antiinflamatorio mediante la inhibición de enzimas clave (lipoxigenasa). Asimismo, el aceite de orégano posee propiedades antioxidantes efectivas para ralentizar la pérdida de color y la oxidación de lípidos en alimentos grasos y para eliminar radicales libres (Jianu et al., 2023).

El aceite esencial de orégano, rico en compuestos como carvacrol y timol, se utiliza ampliamente en la industria química. Estos compuestos tienen fuertes propiedades antimicrobianas y antioxidantes, lo que los convierte en ingredientes ideales para la fabricación de biocidas industriales, conservantes para alimentos y estabilizantes naturales. (Bakkali et al., 2008)

Salvia officinalis (Salvia)

La familia de las mentas está ampliamente distribuida por todo el mundo. En la región mediterránea, esta familia tiene una gran cantidad de plantas medicinales y aromáticas, lo que ha causado la prosperidad económica de esta región. *Salvia officinalis* (salvia) es una de las plantas más valiosas de este género, que ha sido ampliamente utilizada en medicina tradicional, cosmética, perfumería e industrias de salud desde hace mucho tiempo. También, entre los valiosos beneficios de esta planta medicinal, se ha informado que trata fiebres altas y algunos trastornos digestivos. Es un potente antiséptico, antibacterial, antiinflamatorio y anti-sífilis. El aceite esencial de esta planta se ha utilizado para tratar la indigestión y la sudoración excesiva. El 1,8-cineol, el alcanfor y el α - y β -tujona son los compuestos más importantes de la salvia, que son responsables de las propiedades biológicas de esta planta (Zeynali et al., 2023).

La salvia es una planta con aceites esenciales que contienen compuestos fenólicos y terpenos, con sus diversas aplicaciones en la industria química. Estos compuestos son utilizados como antioxidantes industriales para proteger polímeros y aceites de la degradación. En la formulación de tensioactivos y surfactantes naturales, los aceites de salvia se integran en productos de limpieza ecológicos. También se ha identificado su uso como catalizador natural en procesos de oxidación controlada, especialmente en el contexto de la química verde. (Stevanovic et al., 2009)

Cinnamomum verum (canela)

Los aceites esenciales (AE) derivados de las plantas de *Cinnamomum verum* L. son frecuentemente reputados por sus numerosas propiedades farmacológicas. Se ha informado que los AE de *C. verum* L. poseen una amplia gama de actividades farmacológicas, incluyendo actividades antimicrobianas, insecticidas, antioxidantes y citotóxicas, entre muchas otras; por lo tanto, podrían ser potencialmente utilizados en el combate contra varias enfermedades que afectan la vida normal humana. Se han reportado propiedades antioxidantes de los AE en estudios y esto es de particular interés debido al papel central que juega el estrés oxidativo en diversas enfermedades humanas. Específicamente, la generación de especies reactivas de oxígeno que es concomitante con muchos procesos biológicos, incluyendo la respiración celular y las reacciones de la cadena de transporte de electrones, ha sido reportada como promotora del estrés oxidativo, culminando en modificaciones a nivel celular y molecular, que impulsan enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad, entre muchas otras. (Beniaich et al., 2023).

El aceite esencial de canela contiene eugenol, un compuesto químico de gran valor en la industria química. Este se utiliza como precursor para la síntesis de productos como la vanilina y otros fenoles. Además, el eugenol tiene propiedades fungicidas, lo que permite su aplicación en tratamientos químicos para proteger materiales de

la degradación fúngica. También es conocido por su uso en inhibidores de corrosión, protegiendo metales en ambientes industriales agresivos.(Sokovic et al., 2010)

Laurus nobilis (laurel)

La familia Lauraceae comprende numerosas plantas aromáticas y medicinales, incluido *Laurus nobilis*, comúnmente conocido como laurel o laurel de bayas. Es una planta nativa de la región mediterránea del sur que crece hasta una altura de 6 a 10 m, y se cultiva comercialmente por sus hojas aromáticas. *L. nobilis* es una de las especies cultivadas y endémicas de Argelia, que se utiliza principalmente en la cocina y la medicina tradicional. El aceite esencial del laurel que crece silvestre en Argelia ha mostrado propiedades antimicrobianas y antioxidantes efectivas (Belasli et al., 2020).

El aceite esencial de laurel, compuesto por cineol, linalol y eugenol, tiene aplicaciones químicas en diversas áreas. Es utilizado como base en la formulación de solventes orgánicos menos tóxicos para aplicaciones industriales. Además, su actividad insecticida lo hace ideal para pesticidas biodegradables, una solución más ecológica para el control químico de plagas. En la industria de recubrimientos, se emplea en la síntesis de polímeros que ofrecen protección y sostenibilidad. (Stevanovic et al., 2009)

Cuminum cyminum L. (comino)

Cuminum cyminum L. (Zireh-Sabz, nombre persa que significa comino verde) es una medicina herbal bien conocida en Irán y pertenece a la familia Apiaceae. El origen de *C. cyminum* es Egipto, Turkistán y el este de la región mediterránea. Además, se cultiva ampliamente en Irán, China, India, Marruecos, el sur de Rusia, Japón, Indonesia, Argelia y Turquía (Moghaddam et al., 2015). El comino (*Cuminum cyminum L.*), un miembro de la familia Apiaceae conocido como Zireh-e-sabz (comino verde) en Irán, se utiliza ampliamente como planta industrial y medicinal.

Los compuestos fenólicos y los aceites esenciales del comino se utilizan como antioxidantes naturales, en la conservación de alimentos y en el tratamiento de dolor de muelas, diarrea, epilepsia, dispepsia y. Los frutos de *C. cyminum* se aplican como especia convencional en las industrias alimentarias. Además, los medicamentos herbales y el aceite esencial de comino tienen un gran valor medicinal para tratar diversas enfermedades, especialmente trastornos digestivos (Muthamma et al., 2008), dolor de muelas, heridas, ronquera, epilepsia e ictericia. Además, se conoce por sus propiedades antitumorales, antiinflamatorias, diuréticas, emenagogas, citotóxicas, antidiabéticas, antifúngicas, antibacterianas, antioxidantes y antiespasmódicas (Ghasemi et al., 2018)

El aceite esencial de comino, con alta concentración de cuminaldehído y terpenos, se emplea como estabilizante en formulaciones químicas para prevenir la oxidación en mezclas sensibles. Además, sus compuestos aromáticos son intermediarios importantes en la síntesis de cetonas y aldehídos utilizados en productos químicos industriales. También tiene un papel destacado en la elaboración de agentes bioactivos industriales que contribuyen a aplicaciones ecológicas y sostenibles. (Adams, 2007)

Syzygium aromaticum (clavo)

Syzygium aromaticum (clavo) es una de las especias más valiosas que se ha utilizado durante siglos como conservante de alimentos y para muchos propósitos medicinales. Esta planta es una de las fuentes más ricas de compuestos fenólicos como el eugenol, el acetato de eugenol y el ácido gálico, y posee un gran potencial para aplicaciones farmacéuticas, cosméticas, alimentarias y agrícolas (Stoica et al., 2019). El aceite esencial de clavo es conocido por su actividad antimicrobiana contra varias bacterias patógenas. Se propuso la encapsulación del aceite de clavo como un medio para disfrazar su fuerte olor, lo que limita su uso en la industria alimentaria. Así, el objetivo de este estudio fue la extracción, encapsulación y evaluación del

potencial antimicrobiano y antioxidante del aceite esencial de clavo. El aceite esencial de clavo, extraído de los botones florales secos del clavero, tiene actividades antimicrobianas y antioxidantes debido a la presencia de eugenol y otros compuestos fenólicos (Radünz et al., 2018).

El aceite esencial de clavo es una de las fuentes más ricas de eugenol, un compuesto utilizado en la fabricación de polímeros antioxidantes que estabilizan plásticos y otros materiales industriales. Su capacidad antimicrobiana lo convierte en un ingrediente clave para recubrimientos industriales con actividad bactericida y fungicida. (Burt, 2004) Además, el eugenol es la base para productos como insecticidas naturales, reduciendo el impacto ambiental de productos químicos tradicionales. (Skovic et al., 2010)

Pimpinella anisum (anís)

El anís es una planta herbácea anual que florece y se utiliza ampliamente como especia, agente aromatizante y fragancia. Las semillas de anís y sus aceites esenciales (AE) se han utilizado ampliamente en recetas de medicina popular en la región árabe, incluido Irak. Es una planta herbácea que crece en varias regiones del mundo y pertenece a la familia Apiaceae, siendo una de las plantas medicinales más antiguas de Irak; los miembros de esta familia son bien conocidos por sus sabores distintivos, que provienen de los AE y compuestos aromáticos típicos. De hecho, hay evidencia de que matan efectivamente microorganismos sin promover el desarrollo de resistencia, con baja toxicidad para las células de mamíferos y son relativamente fáciles de obtener. Se degradan rápidamente en agua y suelo, lo que las convierte en sustancias relativamente respetuosas con el medio ambiente. (Al-Wendabi et al., 2020).

El aceite esencial de anís, cuyo principal compuesto es el anetol, se utiliza como base en la síntesis de productos químicos aromáticos. Es particularmente valioso

en la formulación de solventes y diluyentes de alta pureza, demandados en la industria química. Asimismo, sus componentes han sido integrados en procesos de síntesis de polímeros biodegradables, contribuyendo al desarrollo de materiales ecológicos para embalaje y otras aplicaciones industriales. (Stevanovic et al., 2009)

1.1.4 Propiedades

La investigación científica ha corroborado la efectividad de los aceites esenciales en la protección frente al estrés oxidativo, la inhibición del crecimiento de patógenos y el alivio de condiciones inflamatorias. Estas propiedades los convierten en ingredientes clave para el desarrollo de productos naturales y sostenibles, destacándose como alternativas prometedoras frente a químicos sintéticos y conservantes tradicionales.

Se presenta cada una de estas propiedades, destacando su relevancia y el impacto que los aceites esenciales pueden tener en diferentes contextos, concentrándonos mayormente en sus propiedades antioxidantes:

- Propiedades antimicrobianas

Los aceites esenciales son conocidos por su capacidad para inhibir el crecimiento de microorganismos como bacterias, hongos y virus. Esta propiedad se debe a la combinación de compuestos activos como los fenoles, aldehídos y terpenos, que interactúan con las membranas celulares de los microorganismos, alterando su estructura e interrumpiendo funciones vitales como la respiración y la replicación.

Los compuestos activos de los aceites esenciales suelen actuar sobre las membranas lipídicas de las bacterias, alterando su permeabilidad y causando la salida de iones y moléculas esenciales para la supervivencia celular. Además, algunos aceites esenciales interfieren en procesos enzimáticos específicos y generan estrés oxidativo en las células microbianas (Burt, 2004).

Los aceites esenciales tienen aplicaciones en la conservación de alimentos, tratamientos tópicos para infecciones cutáneas y en desinfectantes naturales (Fisher & Phillips, 2008).

- Propiedades antioxidantes

Los aceites esenciales son reconocidos por ser una fuente rica de compuestos antioxidantes, lo que los convierte en agentes importantes en la lucha contra el estrés oxidativo, el envejecimiento celular y las enfermedades crónicas. Su capacidad antioxidante se atribuye principalmente a la presencia de compuestos fenólicos, terpenoides y flavonoides, que actúan neutralizando los radicales libres y previniendo el daño oxidativo a biomoléculas esenciales como lípidos, proteínas y ADN. Los compuestos fenólicos y terpenos presentes en los aceites esenciales actúan cediendo electrones a los radicales libres, estabilizándolos y evitando el daño oxidativo en lípidos, proteínas y ADN (Kalantari et al., 2022).

Mecanismos de acción antioxidante:

- ✓ Neutralización de radicales libres

Los compuestos antioxidantes de los aceites esenciales, donan electrones a los radicales libres, estabilizándolos y previniendo su reacción con moléculas biológicas.

- ✓ Prevención de la peroxidación lipídica

Los antioxidantes presentes en aceites esenciales inhiben la formación de radicales peróxidos que dañan las membranas celulares y los lípidos en alimentos. Este efecto es particularmente útil en la industria alimentaria para prevenir la rancidez.

- ✓ Regulación de enzimas antioxidantes:

Algunos aceites esenciales estimulan la actividad de enzimas endógenas como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la glutatión peroxidasa

(GPx), fortaleciendo el sistema antioxidante natural del organismo (Kalantari et al., 2022).

- Propiedades antiinflamatorias

Los aceites esenciales reducen la inflamación mediante la inhibición de mediadores inflamatorios como las prostaglandinas, las citoquinas y la ciclooxigenasa (COX).

Los compuestos terpénicos bloquean la síntesis de prostaglandinas inflamatorias mediante la inhibición de las enzimas COX-1 y COX-2.

- Propiedades relajantes y ansiolíticas

Los aceites esenciales modulan el sistema nervioso central mediante compuestos volátiles como los monoterpenos y ésteres, que atraviesan la barrera hematoencefálica e interactúan con los receptores neuronales (Cavanagh & Wilkinson, 2002).

Compuestos como el linalool activan los receptores GABA-A, induciendo un efecto sedante. Otros aceites esenciales modulan la actividad del sistema nervioso simpático (Cavanagh & Wilkinson, 2002).

- Propiedades estimulantes y energizantes

Los aceites esenciales aumentan la concentración, la energía y el estado de alerta al influir en la liberación de neurotransmisores como la dopamina y la serotonina (Fisher & Phillips, 2008).

1.1.5 Aplicaciones

Los aceites esenciales, obtenidos a partir de diversas especies vegetales, han ganado creciente atención en múltiples industrias debido a su composición rica en compuestos bioactivos con propiedades antimicrobianas, antioxidantes y aromáticas. Estas características los posicionan como una alternativa viable frente

a los productos sintéticos, respondiendo a la demanda actual de soluciones más naturales, sostenibles y seguras para la salud humana y el medio ambiente.

Industria alimentaria

Los aceites esenciales tienen un papel destacado en la industria alimentaria debido a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Por ejemplo, los aceites de orégano, tomillo y canela han demostrado ser efectivos para inhibir el crecimiento de bacterias patógenas como *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus*, lo que contribuye a la conservación de alimentos frescos y procesados. Además, son empleados en películas comestibles y envases activos que prolongan la vida útil de los productos.

Además, los aceites esenciales son ampliamente utilizados para mejorar las propiedades sensoriales de los alimentos, como el aroma y el sabor, respondiendo a la demanda de los consumidores por ingredientes naturales. En los últimos años, se han integrado en tecnologías innovadoras como películas comestibles y envases activos, que liberan de manera controlada sus compuestos bioactivos, mejorando la conservación y prolongando la vida útil de los productos (Prakash et al., 2018).

Industria cosmética

Los aceites esenciales tienen un papel significativo en la industria cosmética, donde son valorados por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y aromáticas. Estas características los hacen ideales para su inclusión en productos para el cuidado de la piel y el cabello, así como en perfumes y cosméticos naturales (Zuzarte & Salgueiro, 2015).

La industria cosmética también utiliza los aceites esenciales para satisfacer la creciente demanda de alternativas libres de químicos sintéticos, ofreciendo productos más sostenibles y compatibles con las preferencias de los consumidores conscientes del impacto ambiental. Sin embargo, su aplicación requiere un control

cuidadoso de las concentraciones para garantizar la seguridad y estabilidad de los productos (Hammer et al., 1999).

Industria farmacéutica

En el ámbito farmacéutico, los aceites esenciales se emplean como agentes terapéuticos debido a sus propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y analgésicas. Son componentes clave en medicamentos naturales y tratamientos alternativos para diversas afecciones, como problemas respiratorios, inflamaciones y dolores musculares (Bakkali et al., 2008).

La investigación en esta área se enfoca en el desarrollo de formulaciones que maximicen la eficacia de los aceites esenciales al tiempo que minimicen efectos adversos. Esto incluye técnicas como la microencapsulación para mejorar su biodisponibilidad y estabilidad en aplicaciones clínicas (Reis et al., 2016).

Industria agrícola

En el control de plagas, los aceites esenciales son valorados por su eficacia como repelentes naturales y biopesticidas. Representan una alternativa ecológica a los pesticidas sintéticos, reduciendo el impacto ambiental y los riesgos para la salud humana. Su uso se ha extendido tanto en ambientes domésticos como en la protección de cultivos y almacenamiento de alimentos (Isman, 2000).

La investigación en esta área se centra en optimizar su aplicación para prolongar su eficacia y desarrollar formulaciones estables que puedan competir con los productos químicos tradicionales, especialmente en sistemas agrícolas (Regnault-Roger et al., 2012).

Aromaterapia y bienestar

Los aceites esenciales se han utilizado de manera efectiva como parte de la medicina alternativa y complementaria debido a sus beneficios sobre la salud. Entre

las aplicaciones más destacadas se encuentran el tratamiento de afecciones respiratorias, dolor crónico, trastornos de la piel y problemas emocionales, entre otros. Los aceites esenciales son aplicados principalmente a través de aromaterapia, masajes, inhalaciones o incluso en formulaciones tópicas y orales (cuando son adecuados).

Los aceites esenciales se utilizan ampliamente en la aromaterapia por sus beneficios sobre la salud mental y física. Sus compuestos volátiles tienen efectos relajantes, estimulantes o equilibrantes, que pueden influir en el sistema nervioso central y el estado de ánimo (Buchbauer, 2016).

La aromaterapia es una práctica que responde a la creciente tendencia de los consumidores por tratamientos alternativos y no invasivos para mejorar el bienestar general. Los aceites esenciales también se incluyen en productos de cuidado personal y bienestar, como velas y difusores, promoviendo la relajación y el alivio del estrés (Ali et al., 2015).

1.1.6 Crecimiento del Mercado Global de Aceites Esenciales

El mercado global de aceites esenciales está experimentando un crecimiento significativo. Se estima que alcanzará un valor de aproximadamente USD 13.9 mil millones para 2027, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) de 8.5% entre 2020 y 2027 (Grand View Research, 2020). Este crecimiento es impulsado por varios factores:

- Aumento de la demanda en la cosmética y cuidado personal: Los aceites esenciales son populares en productos para la piel y el cabello debido a sus

propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias. Además, su uso en aromaterapia y productos de bienestar se está expandiendo.

- Preferencia por productos naturales y orgánicos: Los consumidores están cada vez más interesados en productos libres de productos químicos sintéticos, lo que favorece el uso de aceites esenciales como ingredientes naturales en cosméticos, perfumes y productos de limpieza (Grand View Research, 2020).
- Desarrollo de nuevas aplicaciones terapéuticas: La investigación sobre las propiedades medicinales de los aceites esenciales sigue en aumento, lo que abre nuevas oportunidades para su uso en el tratamiento de diversas afecciones, desde problemas respiratorios hasta enfermedades dermatológicas.

1.2 Métodos de extracción

Los aceites esenciales son compuestos volátiles y altamente concentrados que se encuentran en diversas partes de las plantas, como hojas, flores, frutos y raíces. Su extracción es un paso crucial para su aprovechamiento en múltiples industrias, incluyendo la farmacéutica, cosmética, alimentaria y agrícola. Los métodos de extracción utilizados no solo afectan el rendimiento del aceite esencial obtenido, sino también su composición química y, por ende, sus propiedades funcionales.

A lo largo del tiempo, se han desarrollado diversas técnicas de extracción que varían en complejidad, costo y aplicabilidad según el tipo de material vegetal y las características deseadas del producto final. Métodos tradicionales como la hidrodestilación y el prensado en frío son ampliamente utilizados debido a su simplicidad y eficacia, mientras que enfoques modernos como la extracción con fluidos supercríticos y la extracción asistida por microondas han ganado atención por su capacidad de preservar compuestos sensibles y reducir el impacto ambiental.

La elección del método de extracción depende de factores como la naturaleza de la planta, la composición química del aceite, el uso final y las limitaciones económicas y técnicas. Los métodos más comunes incluyen la hidrodestilación, destilación por arrastre de vapor, extracción con solventes, extracción supercrítica y prensado en frío, entre otros.

Cada método tiene ventajas y limitaciones específicas, lo que hace que la selección del proceso adecuado sea fundamental para obtener aceites esenciales de alta calidad. En esta sección, se describen en detalle los principales métodos de extracción, con un enfoque en sus principios, aplicaciones y aspectos técnicos más relevantes. Debido a razones de investigación del presente proyecto, nos concentraremos en la hidrodestilación, siendo los siguientes los principales métodos de extracción de aceites esenciales:

1.2.1 Hidrodestilación

La hidrodestilación es uno de los métodos más antiguos y utilizados para la extracción de aceites esenciales. Este proceso implica calentar el material vegetal con agua o vapor, lo que provoca la liberación de los compuestos volátiles de las células vegetales. Estos vapores se condensan posteriormente en un sistema de enfriamiento para separarse en dos fases: aceite esencial y agua (Burt, 2004).

La ventaja principal de la hidrodestilación es su eficiencia en la extracción de aceites de plantas con alto contenido de humedad. Sin embargo, puede no ser adecuada para compuestos sensibles al calor, ya que las altas temperaturas utilizadas pueden degradar algunos de los componentes volátiles (Chemat et al., 2008)..

La hidrodestilación se basa en el principio de que el agua, cuando se calienta a temperaturas elevadas, genera vapor. Este vapor pasa a través de las plantas que contienen los aceites esenciales.

A medida que el vapor interactúa con las células vegetales, disuelve los aceites esenciales, que son compuestos volátiles, es decir, se evaporan fácilmente a temperaturas relativamente bajas. Este vapor luego se condensa y se separa en una fase oleosa (el aceite esencial) y una fase acuosa (el hidrosol o agua de flor), la cual también puede contener algunas pequeñas cantidades de compuestos solubles en agua.

La hidrodestilación puede llevarse a cabo de dos formas principales:

1. Destilación por arrastre de vapor: En este método, se pasa vapor de agua a través del material vegetal para arrastrar los compuestos volátiles.
2. Destilación por inmersión: En este proceso, las plantas se sumergen directamente en el agua, que luego se calienta.

La temperatura del proceso se debe controlar cuidadosamente, ya que un calentamiento excesivo puede dañar los compuestos volátiles más sensibles y alterar las propiedades del aceite esencial.

El tiempo de destilación también es un factor crítico, ya que un tiempo demasiado largo puede conducir a la descomposición de los compuestos activos, mientras que un tiempo demasiado corto puede resultar en una extracción incompleta de los aceites esenciales (Buchbauer, 2016).

Ventajas de la Hidrodestilación

- Simplitud y bajo costo: La hidrodestilación es un método relativamente sencillo y económico en comparación con otros métodos de extracción, lo que lo hace ideal para la producción a gran escala (Chemat et al., 2008). No requiere equipos altamente especializados y puede realizarse con tecnología relativamente accesible.
- Compatibilidad con una amplia variedad de plantas: Este método es adecuado para una amplia gama de especies vegetales, incluidas aquellas que contienen aceites esenciales sensibles al calor (Bakkali et al., 2008).
- Alta eficiencia en la extracción de aceites esenciales de plantas ricas en aceites volátiles
- Preservación de compuestos bioactivos: Aunque el calor es necesario para el proceso, la hidrodestilación generalmente preserva una alta proporción de los compuestos bioactivos del aceite esencial, especialmente si se controla adecuadamente la temperatura y el tiempo de destilación (Buchbauer, 2016).

Existen variaciones de la hidrodestilación, como la destilación por arrastre de vapor, que se utiliza ampliamente en la industria para extraer aceites esenciales en grandes cantidades.

Este método reduce el contacto directo con el agua, lo que minimiza la hidrólisis de compuestos sensibles (Azmir et al., 2013).

Factores que Afectan la Hidrodestilación

1. *Temperatura*: La temperatura juega un papel crucial en la extracción de aceites esenciales. Una temperatura demasiado alta puede destruir los compuestos volátiles más sensibles, mientras que una temperatura demasiado baja puede no ser suficiente para liberar los aceites de las células vegetales (Bakkali et al., 2008).
2. *Tiempo de destilación*: El tiempo de exposición al calor también influye en la calidad y cantidad del aceite esencial extraído. El tiempo excesivo puede llevar a la pérdida de compuestos más volátiles, mientras que un tiempo insuficiente puede no extraer completamente los aceites esenciales.
3. *Tamaño de partícula*: El tamaño de las partículas de la planta también afecta la eficiencia de la extracción. Las plantas trituradas o molidas aumentan la superficie de contacto con el agua, lo que facilita la liberación de los aceites esenciales (Buchbauer, 2016).
4. *Relación de planta a agua*: La cantidad de material vegetal en relación con el agua utilizada para la destilación es otro factor crítico. Una mayor cantidad de material vegetal generalmente aumenta el rendimiento de la extracción, pero puede requerir ajustes en el tiempo y la temperatura de destilación (Chemat et al., 2008).

La hidrodestilación sigue siendo uno de los métodos más accesibles y eficaces para la extracción de aceites esenciales, especialmente para plantas aromáticas y medicinales. Aunque tiene algunas limitaciones, sus ventajas como la simplicidad, el bajo costo y la versatilidad la mantienen como una técnica ampliamente utilizada en la industria.

A medida que la tecnología y las técnicas mejoran, se continúa optimizando este proceso para obtener aceites esenciales de mayor calidad y mayor rendimiento,

adaptándose a las necesidades de una industria que sigue creciendo y diversificándose.

1.2.2 Extracción con solventes

En este método, los aceites esenciales se extraen utilizando disolventes orgánicos como hexano, éter de petróleo o etanol. El material vegetal se mezcla con el solvente, que disuelve los compuestos aromáticos. Posteriormente, el solvente se elimina mediante evaporación, dejando un extracto concentrado que contiene el aceite esencial.

Este método es adecuado para materiales vegetales que contienen compuestos no volátiles o que son sensibles al calor, ya que se realiza a bajas temperaturas. Sin embargo, existe el riesgo de residuos de solventes en el producto final, lo que puede limitar su uso en aplicaciones alimentarias o farmacéuticas (Buchbauer, 2016).

1.2.3 Extracción con fluidos supercríticos (SFE)

La extracción con fluidos supercríticos es un método avanzado que utiliza dióxido de carbono (CO_2) en estado supercrítico como solvente. En este estado, el CO_2 combina propiedades de líquido y gas, lo que le permite penetrar eficientemente en el material vegetal y disolver los compuestos volátiles (Reverchon & De Marco, 2006).

Este método es altamente selectivo, permitiendo obtener aceites esenciales con una composición química más pura. Además, se realiza a bajas temperaturas, lo que preserva los compuestos sensibles al calor. No obstante, su alto costo y la necesidad de equipos especializados limitan su uso principalmente a la investigación y aplicaciones de alto valor agregado (Azmir et al., 2013).

1.2.4 Prensado en frío

Este método se emplea principalmente para obtener aceites esenciales de cítricos, como limón, naranja y bergamota. Consiste en prensar mecánicamente la cáscara de los frutos para liberar los aceites esenciales, que luego se separan de los jugos por decantación o centrifugación.

El prensado en frío tiene la ventaja de no utilizar calor ni solventes, lo que garantiza que los compuestos aromáticos se mantengan intactos. Sin embargo, este método es limitado a ciertos tipos de plantas y puede no ser adecuado para materiales más densos o secos (Chemat et al., 2008).

1.2.5 Destilación al Vacío

La destilación al vacío es una variante de la destilación que se lleva a cabo a presiones reducidas, lo que permite la evaporación de compuestos a temperaturas mucho más bajas que las utilizadas en la destilación convencional. Esto es particularmente útil para la extracción de aceites esenciales de compuestos volátiles y sensibles al calor.

La elección del método de extracción adecuado depende de diversos factores, como el tipo de planta, la composición química deseada, y la aplicación final del aceite esencial. Métodos tradicionales como la hidrodestilación continúan siendo ampliamente utilizados por su bajo costo y simplicidad, sin embargo, cada método tiene sus ventajas y limitaciones, por lo que la elección del proceso debe considerar tanto el rendimiento como la pureza del aceite esencial final, así como las necesidades de cada aplicación específica, es por ello que en esta ocasión se opta por elegir a la hidrodestilación.

1.3 Actividad antioxidante

Los radicales libres son moléculas o fragmentos de moléculas caracterizadas por tener uno o más electrones desapareados en su orbital externo, condición que los torna altamente reactivos.

Se han descrito diversas técnicas para evaluar la capacidad antioxidante de alimentos y plantas medicinales, pero aquella que ha recibido una preferencial atención es la técnica que utiliza el radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo conocido por las siglas DPPH. Este radical libre es susceptible de reaccionar con compuestos antioxidantes a través de un proceso caracterizado por la cesión de un átomo de hidrógeno proporcionado por el agente oxidante. (Guija-Poma et al., 2015).

Los aceites esenciales derivados de diversas plantas presentan una amplia gama de propiedades antioxidantes debido a la presencia de compuestos como terpenos, fenoles y flavonoides. Estos compuestos tienen la capacidad de neutralizar los radicales libres y, por lo tanto, son de gran interés en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria (Buchbauer, 2016).

Los antioxidantes son moléculas que pueden donar electrones o átomos de hidrógeno a los radicales libres, estabilizándolos y evitando que causen daño celular. En los últimos años, los antioxidantes naturales, como los polifenoles, flavonoides y terpenos, presentes en muchas plantas y aceites esenciales, han sido reconocidos por sus propiedades protectoras frente a estos radicales libres (Basu et al., 2013).

1.3.1 Métodos de obtención de actividad antioxidante

La elección de un método adecuado para evaluar la actividad antioxidante es crucial en investigaciones relacionadas con la capacidad de los compuestos bioactivos para neutralizar los radicales libres, que son responsables de diversos procesos de daño celular. Existen diferentes técnicas para medir la actividad antioxidante, cada

una con sus características y ventajas dependiendo del tipo de muestra, la precisión requerida y los recursos disponibles.

Entre los métodos más comunes se encuentran el ensayo de DPPH, ABTS, FRAP, ORAC y la quelación de metales, cada uno con ventajas y limitaciones que los hacen más adecuados para determinadas aplicaciones. Sin embargo, la prueba de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) ha emergido como una de las más utilizadas debido a su simplicidad, rapidez y bajo costo, lo que la convierte en la opción preferida para este estudio en particular.

Ensayo de DPPH

El método de DPPH es uno de los más utilizados debido a su simplicidad, rapidez y bajo costo. Se basa en la capacidad de un compuesto antioxidante para donar un electrón o un átomo de hidrógeno al radical libre DPPH•, que es estable y de color púrpura. Al reducirse, el DPPH cambia su color a amarillo, lo que se mide mediante espectrofotometría (Molyneux, 2004). Este método es especialmente útil para evaluar compuestos antioxidantes lipofílicos presentes en aceites esenciales y otros extractos vegetales.

El DPPH es un radical libre estable, lo que significa que no necesita ser generado químicamente ni es reactivo frente al oxígeno. Este radical es ideal para evaluar antioxidantes que funcionan mediante transferencia de electrones o hidrógeno. Los compuestos antioxidantes interactúan con el DPPH reduciéndolo a su forma no radical, lo que resulta en un cambio de color perceptible que indica la capacidad antioxidante de la muestra (Sharma et al., 2009).

La evaluación de la actividad antioxidante de aceites esenciales mediante el ensayo de DPPH permite identificar su potencial para prevenir el daño celular inducido por los radicales libres. Este método ha demostrado ser eficaz para comparar aceites esenciales de diferentes especies botánicas y determinar cuáles poseen una mayor

actividad antioxidante, lo cual es esencial para su uso en productos cosméticos, terapéuticos y alimenticios.

Ensayo de ABTS

El método de ABTS mide la capacidad de un antioxidante para reducir el radical catiónico ABTS^{•+}, que se genera químicamente y es soluble tanto en agua como en solventes orgánicos. Este ensayo es más versátil que el de DPPH, ya que puede aplicarse a una mayor variedad de matrices, incluidas muestras complejas como alimentos procesados y aceites esenciales (Re, et al., 1999).

El método ABTS se ha utilizado ampliamente para evaluar antioxidantes tanto hidrofílicos como lipofílicos, y es particularmente adecuado para compuestos fenólicos y flavonoides. Su alta sensibilidad y facilidad de uso lo convierten en una opción preferida en estudios comparativos de actividad antioxidante.

Ensayo de FRAP

El ensayo de FRAP (Poder Antioxidante Reductor del Hierro) evalúa la capacidad de un antioxidante para reducir Fe³⁺ a Fe²⁺ en presencia de un indicador colorimétrico. Este método es ideal para compuestos que actúan mediante transferencia de electrones, como polifenoles y otros compuestos reductores.

Ensayo de ORAC

El ensayo de ORAC (Capacidad de Absorción de Radicales Oxígeno) mide la capacidad de un antioxidante para neutralizar radicales peroxilo generados in situ. Este método es considerado uno de los más biológicamente relevantes, ya que simula procesos oxidativos reales en sistemas vivos (Ou et al., 2001).

El ensayo utiliza fluorescencia para monitorear la protección de una molécula fluorescente frente a la oxidación inducida por radicales libres. Si bien es altamente

sensible y preciso, requiere instrumentación avanzada y reactivos específicos, lo que puede aumentar los costos asociados (Floegel et al., 2011).

Ensayos de quelación de metales

La capacidad de quelación de metales mide la habilidad de un antioxidante para secuestrar iones metálicos de transición, como el Fe^{2+} o el Cu^{2+} , que catalizan la formación de radicales libres. Este método es particularmente útil para prevenir procesos de oxidación lipídica en alimentos y cosméticos (Re et al., 1999).

Aunque no mide directamente la neutralización de radicales libres, es crucial para evaluar antioxidantes en contextos donde la inhibición de metales catalíticos es fundamental.

Tras analizar diversas opciones de métodos para determinar la actividad antioxidante, la elección del ensayo de DPPH se justifica por su facilidad de implementación, su amplia aceptación en estudios similares, y la capacidad de ofrecer resultados rápidos y confiables en muestras vegetales.

2. Metodología

A continuación, en la Figura 1 se presenta un diagrama de flujo sobre la metodología que se utilizó en el presente trabajo.

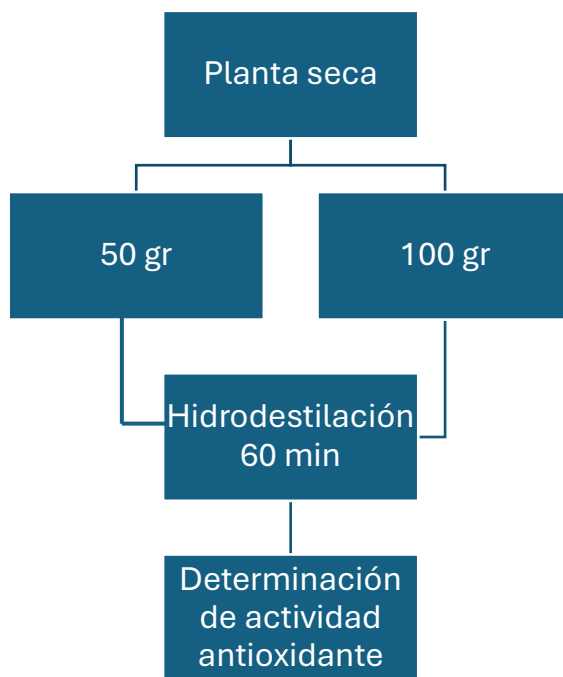


Figura 1. Diagrama general de metodología

Para la obtención de la materia prima, se compró la planta seca en la ciudad de Puebla.

Dependiendo de la planta, esta se colocó ya sea entera como se compró, o se trituró para una mejor manipulación y esperando mejores resultados de esta, donde la trituración se realizó con una licuadora casera; ahora teniendo la muestra en la presentación deseada, se procedió a la obtención del aceite esencial por el método de hidrodestilación.

2.1 Hidrodestilación

El proceso de obtención de aceite esencial por hidrodestilación se llevó a cabo en un aparato de destilación tipo Clevenger que se muestra en la figura 2, este cuenta con una fuente de calor, un matraz en forma de pera de 2L, un condensador recto y un separador de fases para separar y recuperar el aceite esencial del agua.

Donde el procedimiento inicia colocando la muestra sumergida con 1L de agua en el matraz de pera, la cual se mantiene sobre la fuente de calor, para que de esta forma pueda provocar la reacción de la muestra. Este proceso se dejó por un tiempo de extracción 60 minutos en cada una de las muestras.

Se determinó el rendimiento del aceite esencial, definido como la masa de materia de aceite esencial obtenido por masa de materia prima seca (%w/w) con la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{(\text{Masa de aceite esencial obtenido})}{(\text{masa de materia prima seca})} * 100$$

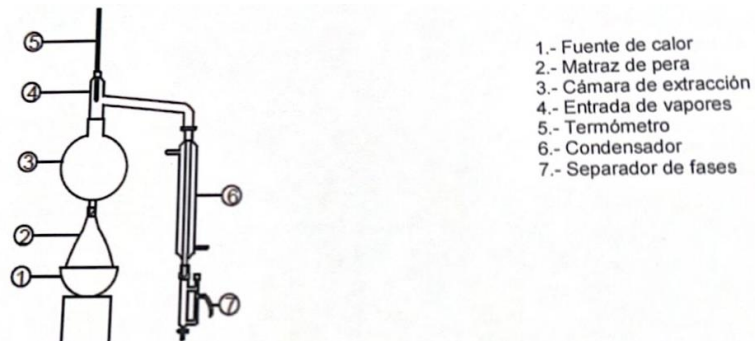


Figura 2 Equipo de destilación tipo Clevenger

2.2 Método DPPH

Para la determinación de la actividad antioxidante se utilizará la metodología donde se mide la capacidad de eliminación de radicales 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl (DPPH)

Esto se fundamenta en la medición de la capacidad de un antioxidante para estabilizar el radical DPPH, el cual se hará espectrofotométricamente, utilizando el equipo que se muestra en la figura 3, colocando como decaimiento de la absorbancia a 517 nanómetros.



Figura 3 Espectrofotómetro

Primero se necesitará de un radical, el cual para su preparación se pesarán 0.0012 gr del radical DPPH en un vidrio de reloj y con la ayuda de un embudo vaciar el radical de un matraz aforado de 50 mL, después de afora con metanol y se agitará perfectamente y se envolverá en papel aluminio para conservarse a temperatura ambiente durante 30 minutos.

Posteriormente se pesarán 3900 μL de la solución de radical DPPH^{•+}-metanol absoluto a la celda de cuarzo para el espectrofotómetro y se adicionan 100 μL de metanol para la solución de control.

En seguida, se toman 3900 μL de la solución de radical DPPH^{•+}-metanol absoluto a una segunda celda de cuarzo para el espectrofotómetro y se adicionan 100 μL de la muestra o del extracto de la misma y en ese momento se empieza a contar el tiempo de la reacción (Tiempo cero). Mientras sucede la reacción, se conserva la celda en un lugar oscuro y a temperatura ambiente.

Concluida la reacción (30 minutos después) se registra la lectura de la absorbancia y se considera como la absorbancia de la muestra (Ab_{Muestra}) o de control en el

caso de la solución que se preparó primero ($AbS_{control}$). Con los datos anteriores se calculará el % de inhibición, y se aplicará la siguiente fórmula:

$$Inhibición (\%) = \frac{[Abs_{control} - Abs_{muestra}]}{Abs_{control}} * 100$$

Todos los experimentos se realizaron por duplicado para realizar el análisis estadístico ANOVA y saber diferencias significativas mediante la técnica de Tukey.

3. Resultados

Discusión de resultados

3.1 Rendimiento

Para obtener el rendimiento representado en porcentaje se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{peso del aceite}}{\text{peso de la muestra}} * 100$$

En este estudio, se observaron variaciones significativas en los valores de rendimiento (Tabla 1), lo que se le atribuye al factor de la especie vegetal seleccionada, además, el rendimiento obtenido en este trabajo será comparado con valores reportados en la literatura para evaluar si una especie distinta favorece la extracción de los compuestos volátiles.

Asimismo, se debe considerar que el rendimiento, aunque crucial, no siempre está directamente relacionado con la calidad del aceite esencial. Por ello, este análisis será complementado con la discusión de las propiedades antioxidantes (Tabla 1), que proporcionan una visión más integral del potencial de uso de los aceites extraídos.

Tabla 1 Valores de aceite esencial obtenido en ambas pruebas

Planta	Tamaño de la muestra	Aceite esencial 1 (gr)	Aceite esencial duplicado (gr)	Rend. 1	Rend. duplicado	Promedio rendimiento	Desviación estándar
Orégano	50	0.3744	0.3868	0.7488	0.7736	0.7612	0.01753
Anís	100	0.8648	0.8913	0.8913	0.8648	0.8780	0.01873
Laurel	100	0.4973	0.5041	0.4973	0.5041	0.5007	0.00480
Salvia	50	0.5941	0.4217	1.1882	0.8434	1.0158	0.24381
Canela	100	0.2664	0.3905	0.2664	0.3905	0.3284	0.08775

Comino	50	0.6768	0.7586	1.3536	1.5172	1.4354	0.115682669
Clavo	100	1.4808	1.1405	1.4808	0.8648	1.1728	0.435577777

Para observar con mayor claridad una comparativa de los datos obtenidos entre ambas pruebas se presenta la Figura 4

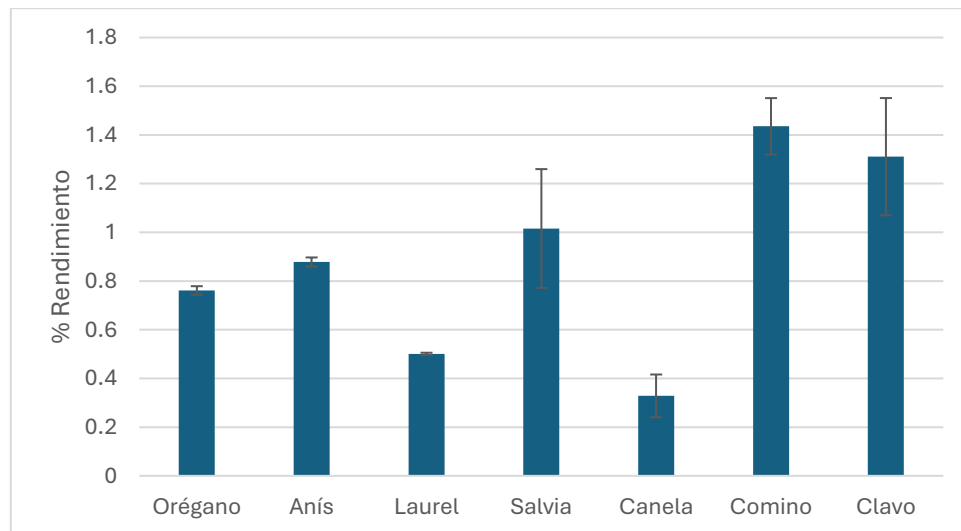


Figura 4 Gráfico de promedio de rendimiento obtenido y su desviación estandar

De igual forma en la Tabla 1 se muestran los promedios de rendimientos entre las pruebas para su mejor análisis y comparación

Comparación con la literatura

Se hará una comparación entre lo leído en la literatura y los resultados obtenidos en la metodología de la experimentación. En la cual según lo mencionado en la literatura, para el orégano se suele obtener menos del 1% de rendimiento (Jianu et al, 2023), y en este proyecto se obtuvo un promedio de 0.76, obteniendo un resultado similar.

En el caso del anís, la literatura marca que después de 3 horas se obtuvo un rendimiento del 2% (Al-Wendabi et al. 2020), haciendo una equivalencia considerando que esta sería equitativa, daría un rendimiento en 1 hora del 0.6% aproximadamente, por lo que si se cumplió con lo esperado en este rendimiento.

Para la salvia en la literatura nos brinda un promedio del 1.1% (Zeynali et al., 2023), siendo este un valor favorecedor para la investigación, ya que se obtuvo un promedio del 1.01%, donde el porcentaje mayor se obtuvo en la primera prueba con el 1.18%, aunque para el laurel en la literatura marca el mismo porcentaje (Belasli et al., 2020) y en la experimentación solo se obtuvo la mitad

Con la canela marca el artículo que el porcentaje más bajo fue de 1.05% (Beniaich et al., 2023), en el presente proyecto solo se obtuvo como mayor porcentaje de rendimiento el del duplicado con un 0.39%.

De igual forma el rendimiento del comino se encontró que es 1.1.% (Moghaddam et al., 2015), y en este proyecto se obtuvo un poco más con un promedio de 1.4%, siendo este un buen resultado en la experimentación.

Por último, con el clavo se reporta que el porcentaje obtenido en literatura utilizada es de 1% (Radünz et al., 2018) por lo que se obtuvo un mayor porcentaje en la presente investigación.

Ahora, comparando los propios resultados, se obtuvo que la especie de planta que cuenta con un mayor porcentaje de rendimiento es el comino con un 1.4%, teniendo una diferencia con la especie con el 2do valor más alto que es el del clavo con un promedio de 1.1%.

Y la especie que presenta un menor porcentaje de rendimiento es la canela, obteniendo un promedio de 0.32%.

3.2 Actividad antioxidante

La actividad antioxidante de los aceites esenciales se evaluó utilizando el método DPPH, un ensayo ampliamente reconocido por su precisión en la medición de la capacidad de neutralizar radicales libres. Los resultados obtenidos mostraron porcentajes de inhibición que reflejan la efectividad de los compuestos presentes en los aceites esenciales para actuar como donadores de electrones. De igual forma, estos resultados se compararán con los de la literatura utilizada en el presente trabajo.

Se presentan los valores de absorbancia de control y de la muestra, recordando que el porcentaje de inhibición se obtiene con la siguiente fórmula

$$\text{Inhibición (\%)} = \frac{[Abs_{control} - Abs_{muestra}]}{Abs_{control}} * 100$$

Se expresaron los resultados como porcentaje de inhibición. Se realizaron dos mediciones independientes, haciendo la primera prueba y su correspondiente duplicado. En ambas, se observaron variaciones significativas entre las muestras analizadas, reflejando las diferencias en la capacidad antioxidante de los aceites esenciales.

Los resultados en la primera prueba y duplicado se presentan en la Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 2 Porcentaje de inhibición de la primera prueba

Prueba 1	ABS control	ABS muestra	Inhibición (%)
Orégano	0.46	0.312	32.17
Salvia	0.46	0.178	61.30
Laurel	0.409	0.237	42.05
Anís	0.449	0.208	53.67

Canela	0.449	0.064	85.75
Comino	0.449	0.175	61.02
Clavo	0.449	0.062	86.19

Tabla 3 Porcentaje de inhibición de duplicado

Duplicado	ABS control	ABS muestra	Inhibición (%)
Orégano	0.46	0.315	31.52
Salvia	0.46	0.178	61.30
Laurel	0.409	0.215	47.43
Anís	0.409	0.175	57.21
Canela	0.409	0.069	83.13
Comino	0.409	0.143	65.04
Clavo	0.409	0.072	82.40

Analizando entre las pruebas, en la primera, el clavo (*Syzygium aromaticum*) mostró la mayor actividad antioxidante, con un porcentaje de inhibición del 86.19%, seguido por la canela (*Cinnamomum verum*) con un 85.75%. Por otro lado, el orégano (*Origanum vulgare*) presentó el porcentaje más bajo de inhibición, con un 32.17%, lo que sugiere según la literatura una menor presencia de compuestos antioxidantes o una menor afinidad por el radical DPPH.

En el duplicado los resultados mostraron tendencias similares, con el clavo y la canela nuevamente obteniendo los porcentajes de inhibición con inhibiciones del 82.40% y 83.13%, respectivamente. El orégano, de igual forma en esta medición, presentó un porcentaje de inhibición del 31.52%, confirmando su menor actividad antioxidante relativa.

Comparación con la literatura

Ahora para un mejor análisis entre la presente investigación y la literatura, se realizará el promedio de la actividad antioxidante obtenida entre la primera y la

segunda prueba, para poder comparar con mayor facilidad, como se observa en la Tabla 6.

Tabla 2 Promedio de actividad antioxidante de proyecto y en literatura

Especie	Promedio de porcentaje de Inhibición	Porcentaje de la literatura
Orégano	31.845 ± 0.46	58.18
Salvia	61.3 ± 0	50
Laurel	44.74 ± 3.80	46
Anís	55.44 ± 2.50	50
Canela	84.44 ± 1.85	88.67
Comino	63.03 ± 2.83	50-60 (promedio 55)
Clavo	84.295 ± 2.68	45.27-92.82 (promedio 69)

Para poder observar de una manera más clara se presenta la siguiente gráfica

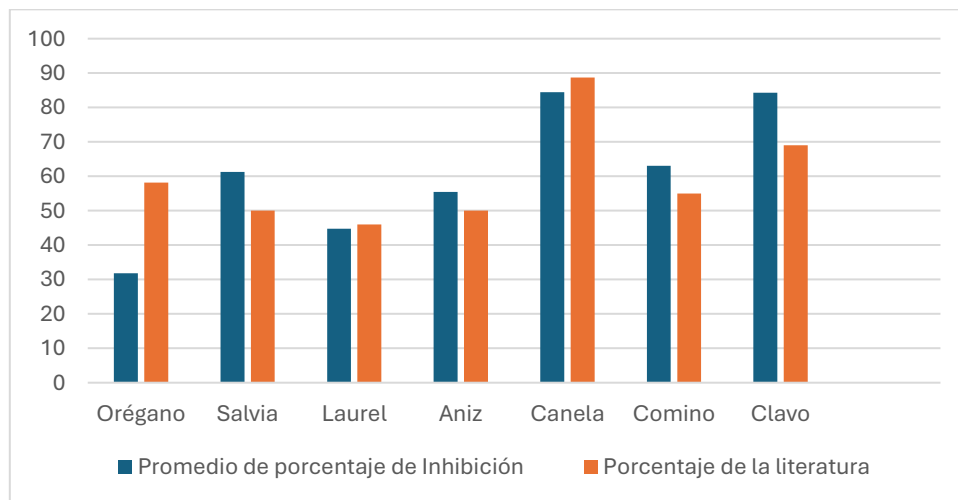


Figura 5 Gráfico de comparación de porcentaje de inhibición

En esta investigación, el único valor con un porcentaje menor significativo es el de aceite esencial de orégano el cual muestra un promedio de porcentaje de inhibición 26.3% más bajo que el valor reportado en la literatura (Jianu et al, 2023).

En el caso de la salvia, el promedio de porcentaje de inhibición observado es ligeramente inferior al valor reportado en la literatura (Zeynali et al., 2023), pero no tan bajo como para considerarse muy significativo.

El aceite esencial de laurel presenta valores similares entre los datos experimentales y la literatura (Belasli et al., 2020), lo que sugiere consistencia en la actividad antioxidante reportada. De igual forma el anís que presenta un comportamiento sumamente similar al de la literatura (Al-Wendabi et al. 2020), con una leve variación.

Para la canela, el promedio de porcentaje de inhibición supera los valores reportados en la literatura (Beniaich et al., 2023). Factores como la calidad de la materia prima y las condiciones de extracción pueden haber potenciado la efectividad del aceite esencial en este estudio.

De igual forma los resultados obtenidos del comino superan por poco al promedio de la literatura (Moghaddam et al., 2015) , ya que esta brinda un rango de entre 50 y 60%, donde el comino obtuvo en este proyecto un porcentaje de 53% estando dentro del rango

El aceite esencial de clavo muestra un promedio de inhibición muy cercano al promedio porcentaje reportado en la literatura (Radünz et al., 2018) , lo que refleja la eficacia consistente de este aceite. Aquí también es importante mencionar que la literatura menciona un rango de entre 45.27 y 92.82%, donde el comino obtuvo un 84%.

Ahora se busca comparar el rendimiento con el porcentaje de inhibición de la actividad antioxidante, para ver con mayor claridad su relación, representados por otra gráfica

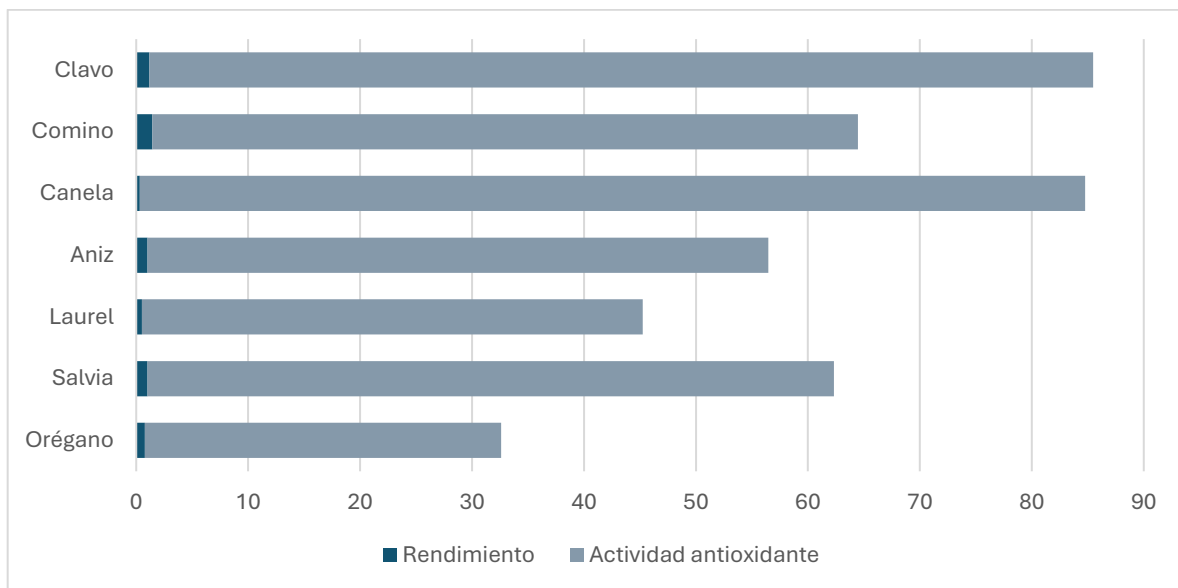


Figura 6 Gráfico de rendimiento y actividad antioxidante

Algo que se notó de ambos resultados, es el hecho de que a pesar de que se obtuvo un bajo rendimiento en la obtención de aceite esencial de la canela, este fue el segundo valor más alto de la actividad antioxidante, y que a pesar de que se obtuvo un mayor rendimiento del comino, este no fue el valor más alto al momento de obtener los resultados de la actividad antioxidante.

Conclusiones

Los aceites esenciales, compuestos complejos y volátiles extraídos de diversas especies vegetales, han captado una atención considerable debido a sus diversas propiedades bioactivas, especialmente sus capacidades antioxidantes. Estas propiedades no solo los hacen valiosos en aplicaciones cosméticas, farmacéuticas y alimentarias, sino que también subrayan la relevancia de su estudio en el ámbito científico. Al evaluar los aceites esenciales, dos aspectos fundamentales sobresalen: el rendimiento de extracción y la actividad antioxidante, ambos cruciales para determinar la calidad y la efectividad de estos productos en diversas aplicaciones.

El rendimiento de extracción de aceites esenciales está directamente relacionado con el proceso y el método de extracción utilizado, ya que cada planta y cada técnica tienen una eficiencia diferente en la cantidad de aceite que se obtiene.

Se comprobó que la variabilidad entre especies también juega un papel importante, ya que algunas plantas pueden ofrecer rendimientos elevados debido a su alta concentración natural de aceites esenciales, mientras que otras presentan rendimientos más bajos. Este factor de rendimiento es crucial no solo desde una perspectiva económica, sino también porque influye en la cantidad de compuestos activos que se extraen, los cuales son esenciales para determinar la eficacia del aceite esencial en aplicaciones terapéuticas y cosméticas.

Por otro lado, la actividad antioxidante de los aceites esenciales refleja su capacidad para neutralizar los efectos negativos de los radicales libres en el organismo, un factor clave en la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes y las afecciones cardiovasculares.

Cabe destacar que existe una relación directa entre el rendimiento de extracción y la actividad antioxidante, pero no siempre en una proporción lineal, como se pudo demostrar en los resultados. Un mayor rendimiento no garantiza automáticamente

una mayor actividad antioxidante, ya que la composición química del aceite esencial es un factor determinante.

De esta manera, la calidad y la composición química del aceite esencial son tan importantes como la cantidad obtenida en términos de su aplicación efectiva, lo que resalta la importancia de los estudios sobre la relación entre ambos factores.

En conclusión, la evaluación de los aceites esenciales debe considerar tanto el rendimiento de la extracción como la actividad antioxidante. Ambos factores determinan la eficiencia económica y en calidad de la obtención de aceites esenciales. Y, es importante destacar que, aunque el rendimiento puede ser un indicador útil, la calidad y la composición del aceite, en particular su actividad antioxidante, son factores más determinantes para su efectividad.

Referencia bibliográficas

- Ali, B., Al-Wabel, N. A., Shams, S., Ahamad, A., Khan, S. A., & Anwar, F. (2015). Essential oils used in aromatherapy: A systemic review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(8), 601-611.
- Al-Wendabi, S. H. A., Gharb, L. A., & Al-Ghrery, R. S. (2020). Antioxidant, antibacterial and biofilm potentials of anise (*Pimpinella anisum*) seeds extracted essential oils. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 52(2), 348-358.
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426–436.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils—A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.
- Basu, A., Rhone, M., & Rhone, E. (2013). Berries and cardiovascular risk factors: A review of the literature. *Nutrients*, 5(5), 1725-1739.
- Belasli, A., Ben Miri, Y., Aboudaou, M., Aït Ouahioune, L., Montañes, L., Ariño, A., & Djenane, D. (2020). Antifungal, antitoxigenic, and antioxidant activities of the essential oil from laurel (*Laurus nobilis* L.): Potential use as wheat preservative. *Food Science & Nutrition*, 8, 4717–4729.
- Beniaich, G., Zouirech, O., Allali, A., Bouslamti, M., Maliki, I., El Moussaoui, A., Chebaibi, M., Nafidi, H.-A., Bin Jardan, Y. A., Bourhia, M., & Taleb, M. (2023). Chemical characterization, antioxidant, insecticidal and anti-cholinesterase activity of essential oils extracted from *Cinnamomum verum* L. *Separations*, 10(6), 348.

- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76.
- Buchbauer, G. (2016). Biological activities of essential oils: An update. *Aromatherapy Science*, 1(1), 1–5.
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.
- Cavanagh, H. M. A., & Wilkinson, J. M. (2002). Biological activities of lavender essential oil. *Phytotherapy Research*, 16(4)
- Chemat, F., Abert-Vian, M., & Visinoni, F. (2008). Green extraction of natural products: Concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(7), 1421–1431.
- Fisher, K., & Phillips, C. A. (2008). Potential antimicrobial uses of essential oils in food: Is citrus the answer? *Trends in Food Science & Technology*, 19(3)
- Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 1043–1048.
- Ghasemi, G., Alirezalu, A., Ghosta, Y., & Fattahi, M. (2018). Antioxidant and antifungal activities of a new chemovar of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Food Science and Biotechnology*, 28(3), 670-677
- Grand View Research. (2020). Essential oils market size, share & trends analysis report by product type (lavender, peppermint, eucalyptus), by application (aromatherapy, personal care, food & beverages), by region, and segment forecasts, 2020 - 2027.
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. Á., Ponce-Pardo, J., & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo

(DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico*, 15(1), 57-60.

- Hammer, K. A., Carson, C. F., & Riley, T. V. (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86(6), 985-990.
- Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8-10), 603-608.
- Jianu, C., Lukinich-Gruia, A. T., Rădulescu, M., Mioc, M., Mioc, A., Soica, C., Constantin, A. T., David, I., Bujancă, G., & Radu, R. G. (2023). Essential oil of *Origanum vulgare* var. *aureum* L. from Western Romania: Chemical analysis, in vitro and in silico screening of its antioxidant activity. *Applied Sciences*, 13(8), 5076.
- Kalantari, S., Khashyarmansh, Z., & Mohammadi, S. (2022). Essential oils as green preservatives: A review. *Journal of Food Safety*, 42(2), e12955.
- Khan, M., & Ali, A. (2020). Antioxidant properties of cumin (*Cuminum cyminum*) essential oil and its application in food preservation. *Food Chemistry*, 15(4), 123–132.
- Moghaddam, M., Miran, S. N. K., Pirbalouti, A. G., Mehdizadeh, L., & Ghaderi, Y. (2015). Variation in essential oil composition and antioxidant activity of cumin (*Cuminum cyminum* L.) fruits during stages of maturity. *Industrial Crops and Products*, 70, 163-169.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*, 26(2), 211–219.
- Ou, B., Hampsch-Woodill, M., & Prior, R. L. (2001). Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10), 4619–4626.

- Prakash, B., Singh, P., Mishra, P. K., & Dubey, N. K. (2018). Safety and efficacy of essential oils as herbal preservatives in food systems. *Food Control*, 47, 212-219.
- Radünz, M., da Trindade, M. L. M., Camargo, T. M., Radünz, A. L., Borges, C. D., Gandra, E. A., & Helbig, E. (2018). Antimicrobial and antioxidant activity of unencapsulated and encapsulated clove (*Syzygium aromaticum*, L.) essential oil. *Food Chemistry* 276, 180-186.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231–1237.
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405-424.
- Reis, D. R., Borges, F. A., Vale, G. T., & Silva, G. (2016). Microencapsulation of essential oils: A review. *Food Research International*, 89, 49-56.
- Reverchon, E., & De Marco, I. (2006). Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *The Journal of Supercritical Fluids*, 38(2), 146–166.
- Santos, F. R., Rodrigues, T. S., & Zatta, L. A. (2019). Influence of harvest time and drying process on essential oil yield from *Rosmarinus officinalis*. *Journal of Essential Oil Research*, 31(4), 323–330.
- Sharma, O. P., & Bhat, T. K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chemistry*, 113(4), 1202–1205.
- Sokovic, M., Glamoclija, J., Marin, P. D., Brkic, D., & van Griensven, L. J. L. D. (2010). Antibacterial effects of the essential oils of commonly consumed medicinal herbs using an in vitro model. *Molecules*, 15(11), 7532-7546.

- Stevanović, T., Diouf, P. N., & García-Pérez, M. E. (2009). Bioactive polyphenols from healthy diets and forest biomass. *Current Nutrition & Food Science*, 5(4), 264-295.
- Stoica, M., Dima, C., Coman, G., Alexe, P., & Neagoie, A. (2019). Antioxidant and antibacterial activity of *Cymbopogon citratus* and *Syzygium aromaticum* essential oils alone and in combination. *Journal of Science and Arts*, 3(48), 715-722.
- Vieira, G. H. da C., Dias, B. B., & Leonel, D. C. O. (2016). Essential oils: Properties, applications, extraction methods, and perspectives. En *Essential Oils: Historical Significance, Chemical Composition and Medicinal Uses and Benefits* (pp. 1-15). Nova Science Publishers.
- Zeynali, R., Najafian, S., & Hosseinifarahi, M. (2023). Exogenous putrescine changes biochemical (antioxidant activity, polyphenol, flavonoid, and total phenol compounds) and essential oil constituents of *Salvia officinalis* L. *Chemistry & Biodiversity*, 20(11), e202301043.
- Zuzarte, M., & Salgueiro, L. (2015). Essential oils chemistry. In M. M. A. M. Duarte (Ed.), *Therapeutic applications of essential oils* (pp. 19-61). Springer