

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



FITOQUÍMICA, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y ACTIVIDAD
ANTIMICROBIANA DE NUEVE VARIEDADES DE *Ocimum basilicum* L.

Tesis

Que presenta ESTEFANÍA MORAZ ALDERETE
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



FITOQUÍMICA, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y ACTIVIDAD
ANTIMICROBIANA DE NUEVE VARIEDADES DE *Ocimum basilicum* L.

Tesis

Que presenta ESTEFANÍA MORAZ ALDERETE

como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



Dr. José Luis Reyes Carrillo
Director UAAAAN



Dra. Mercedes Georgina Ramírez Aragón
Directora Externa

Torreón, Coahuila

Julio 2025

FITOQUÍMICA, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y ACTIVIDAD
ANTIMICROBIANA DE NUEVE VARIEDADES DE *Ocimum basilicum* L.

Tesis

Elaborada por ESTEFANÍA MORAZ ALDERETE como requisito parcial para
obtener el grado de Doctor en Ciencias en Producción Agropecuaria con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. José Luis Reyes Carrillo
Director de Tesis



Dra. Mercedes Georgina Ramírez Aragón
Asesor



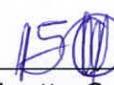
Dr. Mario García Carrillo
Asesor



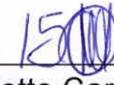
Dr. Eduardo Arón Flores Hernández
Asesor



Dra. Victoria Jared Borroel García
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila

Julio 2025

AGRADECIMIENTOS

A DIOS PADRE, DIOS MADRE, UNIVERSO, MADRE TIERRA, por la gran bendición de estudiar una carrera en la cual me siento plena y satisfecha que se alinea con mi plan divino. Gracias, gracias, gracias.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi “Alma Mater” por haberme dado la oportunidad y la satisfacción de recibirme de una licenciatura, en maestría y ahora en doctorado. Me ha permitido evolucionar como persona profesionalmente y laboralmente.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) por la beca que me otorgó para realizar mis estudios de doctorado.

Al M.C. Edgardo Cervantes Álvarez, por todo el apoyo que me ha brindado desde la licenciatura hasta el doctorado. Por todas sus enseñanzas, por todo el apoyo incondicional que me ha brindado en todas las áreas de mi vida, además de permitirme estudiar en los diplomados que se imparten en el CETAOS, parte de mi crecimiento profesional y personal se lo debo en gran parte a él, porque ha sembrado en mí una gran semilla y le doy gracias a Dios por haberlo puesto en mi camino, es una gran persona él y toda su familia.

Al Dr. José Luis Reyes Carrillo, por todo el aprendizaje y la gran semilla que dejó en mí en el área de investigación y por compartirme todo su conocimiento, una gran persona, maestro e investigador. Gracias también por todas las facilidades, consejos y apoyo incondicional que me ha brindado desde siempre.

A la Dra. Mercedes Georgina Ramírez Aragón y la Dra. Victoria Jared Borroel García, por todo el conocimiento compartido y gracias por compartir su valioso tiempo. Gracias por sus consejos y por su apoyo incondicional en todas las áreas de mi vida. Agradezco a Dios el haber coincidido con ustedes.

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres María Teresa Alderete Santoyo (QEPD) y Ángel Moraz de la Cruz, gracias porque son los mejores padres que me tocaron, agradezco y honro que me hayan dado la vida. Agradezco y honro todos los valores, todo lo que me inculcaron desde pequeña, gracias por todo. Las palabras de mi papá son muy sabias y ahora puedo decir que tenías razón papá y aquí estoy.

A mi hermana Ángela Gabriela Moraz Alderete por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, aprendiendo siempre juntas, gracias porque en estos tres años ella me dio mucha fuerza y valentía y lo sigue haciendo. Agradezco y honro su vida, que sea mi hermana es una gran bendición.

“Si realmente quieres algo, tienes que creer en ello con todo tu corazón”

“Los deseos se hacen realidad cuando la fe es fuerte tanto en la mente como en el corazón”

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 <i>Ocimum basilicum</i> L. Ecología y morfología	4
2.2 <i>Ocimum basilicum</i> L. Componentes fitoquímicos	6
2.3 <i>Ocimum basilicum</i> L. Actividad antibacteriana	7
2.4 <i>Ocimum basilicum</i> L. Actividad antifúngica	9
2.4 <i>Ocimum basilicum</i> L. Actividad antioxidante	10
2.5 Fitobióticos	12
2.6 <i>Salmonella</i>	15
2.7 <i>Escherichia coli</i>	18
2.8 <i>Candida albicans</i>	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1 Experimento 1	23
3.2 Experimento 2	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1 Compuestos fenólicos	31
4.2 Flavonoides totales	32
4.3 Capacidad antioxidante	33
4.4 Compuestos específicos (ácido gálico, morín y ácido ferúlico)	34
4.5 Discusión compuestos fenólicos	35
4.6 Discusión flavonoides totales	36
4.7 Discusión capacidad antioxidante	36

4.8 Discusión compuestos específicos (ácido gálico, morina y ácido ferúlico)	37
4.9 Resultados y discusión actividad antimicrobiana	38
V. CONCLUSIONES	41
VI. REFERENCIAS	43

LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Actividad antioxidante de nueve variedades diferentes de <i>Ocimum basilicum</i> por ensayo DPPH y ABTS	33
Tabla 2. Metabolitos secundarios específicos de nueve variedades diferentes de <i>Ocimum basilicum</i>	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (A) Plantación de <i>O. basilicum</i> L. en un área de plantación. (B) Inflorescencia completa de <i>O. basilicum</i> L. (C) Sección detallada de la inflorescencia. (D) Hoja. (E) Flor	5
Figura 2. Prueba de antibiograma realizada en el laboratorio <i>E.coli</i>	29
Figura 3. Prueba de antibiograma realizada en el laboratorio <i>Salmonella</i>	29
Figura 4. Concentración de ácidos fenólicos en nueve variedades de albahaca	31
Figura 5. Concentración de flavonoides totales en nueve variedades de albahaca	32
Figura 6. Actividad antimicrobiana de extractos de albahaca contra <i>Escherichia coli</i>	38
Figura 7. Actividad antimicrobiana de extractos de albahaca contra <i>Salmonella enteritidis</i>	38
Figura 8. Actividad antimicrobiana de extractos de albahaca contra <i>Candida albicans</i>	39

RESUMEN

Fitoquímica, capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana de nueve variedades de *Ocimum basilicum* L.

Estefanía Moraz Alderete

Doctorado en Ciencias en Producción Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. José Luis Reyes Carrillo

Director de tesis

La presente tesis evaluó el contenido fitoquímico, la capacidad antioxidante y la actividad antimicrobiana de nueve variedades de *Ocimum basilicum* L. cultivadas bajo las mismas condiciones. Se analizaron los contenidos de compuestos fenólicos, flavonoides totales y capacidad antioxidant mediante los métodos DPPH y ABTS. Además, se evaluó la actividad antimicrobiana de los extractos hidroalcohólicos frente a cepas de *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli* y *Candida albicans* mediante el método colorimétrico MABA (Alamar Blue). Los resultados mostraron diferencias significativas entre las variedades en cuanto al contenido de metabolitos secundarios, capacidad antioxidant y eficacia antimicrobiana. Algunas variedades, como Nufar y Napolitano, destacaron por su alto contenido fenólico y actividad antioxidant, mientras que Thai y Persa demostraron actividad antimicrobiana frente a los tres microorganismos evaluados. Estos hallazgos confirman el potencial de los extractos de albahaca como fuente natural de compuestos bioactivos con aplicaciones en salud y producción agropecuaria.

Palabras clave: Compuestos fenólicos, Fitobióticos, Alamar Blue (MABA)

ABSTRACT

Phytochemistry, antioxidant capacity and antimicrobial activity of nine varieties of *Ocimum basilicum* L.

Estefanía Moraz Alderete

Doctor of Science in Agricultural Production
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. José Luis Reyes Carrillo

Thesis supervisor

This doctoral thesis evaluated the phytochemical content, antioxidant capacity, and antimicrobial activity of nine varieties of *Ocimum basilicum* L. cultivated under identical conditions. Total phenolic content, flavonoids, and antioxidant capacity were measured using DPPH and ABTS assays. The antimicrobial activity of hydroalcoholic extracts was tested against *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli*, and *Candida albicans* using the MABA (Alamar Blue) colorimetric method. Results showed significant differences among the varieties in terms of secondary metabolite content, antioxidant capacity, and antimicrobial efficacy. Some varieties, such as Nufar and Napolitano, exhibited high phenolic content and antioxidant activity, while Thai and Persa showed antimicrobial activity against all tested microorganisms. These findings confirm the potential of basil extracts as a natural source of bioactive compounds with applications in health and agricultural production.

Keywords: Phenolic compounds, Phytobiotics, Alamar Blue (MABA)

INTRODUCCIÓN

La resistencia antimicrobiana, conocida como RAM, ocurre cuando microorganismos tales como bacterias, hongos, parásitos y virus sufren cambios que les permiten eludir los efectos de los fármacos antimicrobianos, incluyendo a los antibióticos, que se emplean para tratar dichas infecciones. En el siglo XXI, la RAM ha emergido como una de las amenazas más serias a nivel global, impulsada por el aumento vertiginoso de infecciones resistentes y la escasez de nuevos tratamientos antimicrobianos disponibles para enfrentar este desafío (Prestinaci, Pezzotti, & Pantosti, 2015).

Una de las razones más destacadas del problema que enfrentamos hoy en día podría ser el resultado del empleo desmedido o inapropiado de antibióticos en múltiples contextos, especialmente en tratamientos médicos, así como en la agricultura, la salud de los animales y la cadena alimentaria. La resistencia a los antimicrobianos, a menudo denominada la “pandemia silenciosa”, presenta un desafío que demanda acciones urgentes y debe ser abordado de manera más efectiva, sin tratarlo como un asunto que se resolverá en el futuro (Founou et al., 2021).

Sin la implementación de estrategias adecuadas, se proyecta que para el año 2050, la resistencia a los antimicrobianos podría ascender a la principal causa de fallecimientos a nivel global. Según datos a nivel mundial, más de 1,2 millones de decesos estuvieron vinculados con la resistencia a los antimicrobianos en 2019, y se anticipa que esta cifra podría alcanzar cerca de 10 millones de muertes anuales para 2050 si no se realizan intervenciones efectivas para gestionarla (O'Neill, 2016).

Se ha comprobado que tanto los humanos como los animales pueden compartir bacterias, padecimientos y, lo que es más significativo, los mismos tratamientos antibióticos para las enfermedades infecciosas que les afectan a ambos. Al analizar esta situación, se entiende que la resistencia a los antimicrobianos se ha convertido en uno de los desafíos más críticos de la iniciativa de "Una Salud". La resistencia tiene el potencial de diseminarse rápidamente entre la población,

así como a lo largo de la cadena alimentaria, en las instalaciones de atención médica y en el entorno, complicando el control de diversas enfermedades infecciosas en humanos y animales (Tang, Millar, & Moore, 2023).

En la carne, estas sustancias pueden aparecer en cantidades reducidas o en niveles elevados dentro de los excrementos de animales. Adicionalmente, se ha evidenciado que la contaminación por residuos de antibióticos en los desechos empleados como abonos agrícolas tiene un impacto negativo en el entorno. Esto se debe a que afecta la accesibilidad de nutrientes en el suelo, ocasionando alteraciones en la microflora y microfauna, lo que favorece la proliferación de bacterias que desarrollan resistencia a los antibióticos utilizados como promotores del crecimiento en el suelo. Por consiguiente, debido a su composición variada de diferentes moléculas con características variadas, los fitobióticos se presentan como productos con un gran potencial. Se ha comprobado, por ejemplo, que su capacidad para combatir bacterias está vinculada a una variedad de compuestos que afectan a los microorganismos mediante distintos mecanismos fisiológicos que son cruciales para su supervivencia, lo que a su vez reduce la posibilidad de que se desarrolle resistencia. La naturaleza de los compuestos activos en los fitobióticos varía significativamente en función de elementos como la parte de la planta empleada, las condiciones climáticas, el grado de madurez al momento de la recolección y el tipo de suelo. Además, se ha evidenciado que las propiedades antioxidantes de los fitobióticos de origen vegetal se relacionan en gran medida con su contenido de compuestos fenólicos, cuyas propiedades son comparables a las de los antioxidantes fenólicos sintéticos (Ndomou & Mube, 2024).

Entre los fitobióticos reconocidos, el grupo *Ocimum*, de la familia *Lamiaceae*, incluye alrededor de 30 especies de hierbas, entre las que destaca el *Ocimum basilicum*. Conocida por su riqueza en compuestos bioactivos, todas sus partes poseen propiedades terapéuticas. Las hojas contienen aceites esenciales y una variedad de ácidos orgánicos, β-caroteno y taninos. El tulsi ha demostrado tener múltiples beneficios, incluyendo propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antidiabéticas y cardioprotectoras. También se le atribuyen

efectos inmunomoduladores, antiinflamatorios y la capacidad de reducir la presión arterial y los niveles de glucosa, sin efectos genotóxicos ni tóxicos en los órganos tras su consumo (El-Ghany, 2024).

Por esa razón, el objetivo de la presente tesis es determinar el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y actividad antioxidante de los extractos hidroalcohólicos de las nueve variedades de albahaca cultivadas en las mismas condiciones y determinar la concentración mínima inhibitoria de los extractos en estudio ante cepas de *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli* y *Candida albicans*.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 *Ocimum basilicum* L. Ecología y morfología

La albahaca es famosa por su habilidad para crecer en diferentes temperaturas y áreas geográficas, lo que la hace una planta cultivada en todo el mundo (Barickman et al., 2021). El grupo *Ocimum*, que forma parte de la familia Lamiaceae (también conocida como Labiateae), se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales de América, África y Asia (O'Leary, 2017). El género *Ocimum* comprende más de 150 especies cultivadas en varios países, tales como Marruecos, Egipto, India, México, Indonesia, Grecia, Francia, Hungría y Estados Unidos (Akbari, Soltani, Binesh, & Amini, 2018). La albahaca dulce es una hierba anual con follaje denso y una variedad de componentes aromáticos (Nazarian, Amouzgar, & Sedghianzadeh, 2016).

Esta especie vegetal se desarrolla de manera óptima en un clima agrícola, donde las temperaturas fluctúan entre los 7 y 27 °C. La precipitación anual varía entre 0.6 y 4.3 metros, y el pH del suelo se sitúa entre 4.3 y 8.2. Su cuidado es sencillo y se puede cultivar con facilidad, tanto en espacios cerrados como al aire libre (Li & Chang, 2015). A pesar de que las heladas y las bajas temperaturas pueden perjudicarla, esta especie se desarrolla de manera óptima en entornos con luz diurna extendida, sol directo y un suelo que drene adecuadamente (Lal, Gupta, Chanotiya, & Sarkar, 2018).

La planta puede crecer hasta 0.6 m de altura, con ramas laterales que crean un ángulo de más de 30° con la rama principal. El tallo es redondo-cuadrangular, glabro (liso, sin pelos) o puberulento (pelos cortos y finos), concentrado en las dos caras opuestas del tallo. La inflorescencia es densa, dispuesta alrededor de un punto en un eje hasta 12 mm de distancia; el eje es pubescente y con un total de seis flores que rodean el ápice. Las hojas son verdes, el ápice mayoritariamente agudo o acuminado; la forma es ovada u elíptica-ovada; el tamaño es de unos 15–50 x 5–25 mm; el margen de la hoja es enteramente o

escasamente aserrado y con una forma glandular-punteada. El pecíolo mide unos 20 mm de largo y es pubescente (cubierto de pelos cortos y suaves). La corola con un tubo de color blanco o rosado, de unos 7–8 mm de largo, tiene forma de embudo. El cáliz piloso (cubierto de pelos largos y suaves o pubescente) presenta un denso anillo de pelos en la garganta, y el cáliz fructífero mide unos 6 mm de largo. El estambre presenta pelos en penacho cerca de la base. Las nueces son de color marrón oscuro, de forma elíptica, y



producen mucílago al interactuar con el agua (A. Kumar, Shukla, Shasany, & Sundaresan, 2018).

Figura 1. (A) Plantación de *O. basilicum* L. en un área de plantación. (B) Inflorescencia completa de *O. basilicum* L. (C) Sección detallada de la inflorescencia. (D) Hoja. (E) Flor (Azizah et al., 2023).

2.2 *Ocimum basilicum* L. Componentes fitoquímicos

Se han llevado a cabo significativas investigaciones para analizar la composición fitoquímica de *Ocimum basilicum* mediante aceites esenciales extraídos de esta misma planta. Los aceites esenciales de *Ocimum basilicum* constituyen combinaciones de compuestos volátiles, naturales y aromáticos generados por la planta como metabolitos secundarios que cumplen funciones de defensa. Estos pueden ser obtenidos de diferentes partes de la planta, incluyendo flores, raíces, corteza, hojas y semillas (Da-Silva et al., 2003). Uno de los factores más importantes para evaluar la calidad de un aceite esencial es el método de extracción utilizado. En diversas investigaciones, aún se recurren a técnicas tradicionales de obtención, incluyendo soxhlet, hidrodestilación, destilación por arrastre de vapor, extracción con solventes, y una combinación de extracción por vapor junto con solventes (Tongnuanchan & Benjakul, 2014). No obstante, hay técnicas de extracción ambientalmente amigables que muestran gran potencial, como la extracción facilitada por microondas, la extracción mediada por ultrasonido, la extracción con alta presión, la extracción utilizando fluidos en estado supercrítico y subcrítico, así como las extracciones que se realizan con asistencia eléctrica y la extracción que utiliza enzimas (Majid et al., 2023). Los métodos de extracción ecológica reducen el uso de disolventes, son fáciles de aplicar, mejoran la eficiencia y disminuyen costos en el proceso de obtención (Ameer, Shahbaz, & Kwon, 2017). El extracto y el aceite esencial de *O. basilicum* L. albergan diversas categorías de compuestos químicos, siendo los terpenoides los más relevantes. Entre ellos se encuentran sesquiterpenos oxigenados, monoterpenos oxigenados, hidrocarburos tanto sesquiterpénicos como monoterpénicos, así como otros compuestos no relacionados con terpenos. Asimismo, esta planta es rica en compuestos fenilpropanoides, incluyendo eugenol, metileugenol, chavicol, estragol y metilcinamato. Por otra parte, monoterpenos como el geraniol, mirtenol, pineno,

alcanfor y borneol presentan un potencial interesante para su uso en el ámbito médico (Zielińska-Błajet & Feder-Kubis, 2020).

El estudio del extracto metanólico extraído de las hojas de *O. basilicum* L. a través de sonicación reveló la existencia de diversos compuestos polifenólicos, tales como ácido cafeico, ácido caftárico, ácido 3,4 dihidroxifenilacético, ácido ferúlico, ácido rosmarínico y rutósido (conocido también como rutina) (Elansary et al., 2020). Los compuestos fenólicos son bien valorados por sus efectos positivos y su uso en la medicina. Asimismo, se ha encontrado que el extracto de *O. basilicum* L. posee fitoesteroles, entre los que se incluyen el β-sitosterol, estigmasterol y campesterol (Qamar, Sana, Naveed, & Faizi, 2023).

2.3 *Ocimum basilicum* L. Actividad antibacteriana

En un estudio realizado por Adıgüzel et al. (2005), se evaluaron *in vitro* las propiedades antimicrobianas del extracto de *Ocimum basilicum* en etanol, metanol y hexano. Mediante difusión en disco y concentración mínima inhibitoria (CMI), se investigaron 146 microorganismos de 55 especies bacterianas distintas y cuatro tipos diferentes de hongos y levaduras. Para las 146 bacterias analizadas, los extractos de metanol y etanol demostraron una inhibición del 10 % y el 9 %, respectivamente, mientras que el extracto de hexano mostró una actividad antibacteriana más potente y completa. Las concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) de los extractos de etanol, hexano y metanol fueron de 125 a 250 µL/mL, 62.50 a 250 µL/mL y 250 a 500 µL/mL, en este orden.

El extracto de *Ocimum basilicum* tiene la capacidad de inhibir el crecimiento bacteriano debido a su rico contenido de compuestos fenólicos, como eugenol, metil eugenol, ácido benzoico, ácido 4-hidroxibenzoico, ácido salicílico y fenol. Los compuestos fenólicos tienen muchos efectos sobre los microorganismos, como alterar la permeabilidad de las membranas celulares microbianas debido a la acumulación de grupos hidrofóbicos en la bicapa fosfolipídica, alterando la integridad de la membrana, causando fugas en los componentes intracelulares

y, en última instancia, provocando la muerte celular. Los compuestos fenólicos también pueden unirse a enzimas e inhibir sus funciones, incluyendo aquellas relacionadas con la síntesis de proteínas, ADN y ARN. El extracto de *Ocimum basilicum* también contiene compuestos terpénicos como fitol; 3,7,11,15-tetrametil-2-hexadecen-1-ol; lupeol; y beta-amirina, que actúan sobre las membranas celulares de los microorganismos y las destruyen. Además, la actividad antibacteriana está asociada con la presencia de ácidos grasos. El extracto de *Ocimum basilicum* es rico en ácidos grasos saturados e insaturados con largas cadenas de carbono de 16 o más. Los ácidos grasos con cadenas de carbono de seis o menos inhiben a las bacterias gramnegativas, mientras que las bacterias grampositivas son inhibidas por ácidos grasos con cadenas de carbono de más de doce, y las levaduras son inhibidas por ácidos grasos con cadenas de carbono de diez a doce (Zhakipbekov et al., 2024).

El aceite esencial de *Ocimum basilicum* mostró una potente actividad antibacteriana contra todas las cepas de bacterias grampositivas y gramnegativas analizadas en un estudio sobre el efecto del aceite en el crecimiento de once tipos diferentes de microorganismos. En comparación con el antibiótico comercial ciprofloxacino, el aceite esencial de *Ocimum basilicum* mostró una mayor actividad antibacteriana contra *S. enterica*, *P. stuartii*, estafilococos coagulasa positivos y estreptococos del grupo D. Además, en comparación con el antibiótico comercial gentamicina, el aceite esencial de *Ocimum basilicum* mostró una mayor actividad antibacteriana contra especies de *Salmonella*, *E. coli*, *S. enterica*, *P. stuartii*, estafilococos coagulasa positivos y estreptococos del grupo D. La zona de inhibición más pequeña fue de 9,66 mm para *B. cereus* y la más grande de 40,00 mm para *Staphylococcus* coagulasa positivo, lo que indica un fuerte efecto inhibidor del aceite esencial de *Ocimum basilicum* (Stanojevic et al., 2017). La mayoría de los aceites esenciales analizados para determinar sus propiedades antibacterianas también demostraron una mayor eficacia contra bacterias grampositivas que contra bacterias gramnegativas. Esto se debe a que la presencia de una membrana externa compuesta de lipopolisacáridos permite a las bacterias gramnegativas

protegerse limitando la penetración de compuestos hidrofóbicos como el aceite esencial. Por lo tanto, el aceite esencial podría no poder atacar adecuadamente las capas de fosfolípidos de las células bacterianas, comprometiendo su permeabilidad e integridad. El aceite esencial de *Ocimum basilicum* mostró una alta actividad antibacteriana contra bacterias grampositivas, debido a sus principales componentes: el componente fenólico (estragol) y el compuesto monoterpenoide (linalol). La presencia de estos componentes en el aceite esencial puede promover la actividad antimicrobiana al alterar la permeabilidad e integridad de las membranas bacterianas, produciendo pérdida intracelular de ATP e iones potasio, y provocando la muerte celular (Zhakipbekov et al., 2024).

2.4 *Ocimum basilicum* L. Actividad antifúngica

Las infecciones fúngicas constituyen una de las principales razones de decesos a causa de enfermedades infecciosas a nivel global (Y. Lee, Puumala, Robbins, & Cowen, 2021). El aceite esencial de *O. basilicum* L. posee propiedades antifúngicas contra *Candida albicans*, con una zona de inhibición de 27 mm. Estas actividades se ven reforzadas por el linalol, el metil chavicol, el β -elemeno y el α -bulneseno (Stanojevic et al., 2017). Los extractos etanólicos de las partes aéreas de *O. basilicum* L. mostraron actividad antifúngica contra *C. albicans*. Los extractos mostraron la presencia de una zona inhibitoria de 18 mm para los hongos (Vlase et al., 2014). Una investigación evidenció que grandes cantidades de compuestos terpénicos, tales como citral, eugenol, nerolidol y α -pineno, exhibieron un efecto antifúngico al dañar la membrana celular (Mirona et al., 2014). La fracción de metanol crudo de *Ocimum basilicum* fue eficaz contra ocho cepas fúngicas diferentes. Incluso con la dosis más baja (1 mg/mL) del extracto utilizado, se observó una inhibición del crecimiento de leve a moderada (10 % a 65 %). Dado que sólo se observó un 10 % de inhibición del crecimiento con esta dosis, *Candida albicans* pareció ser más resistente. En la especie *Curvularia lunata*, se observó una inhibición moderada (27 %) con una dosis de 1 mg/mL. Con una dosis de 1 mg/mL, el efecto de *Penicillium* se

inhibió drásticamente (65 %). Se observó una supresión del desarrollo micelial en todas las cepas, excepto en *Curvularia lunata* (43 %) y *Candida albicans* (17 %) con dosis de 3 mg/mL (Ahmad, Khalil, Yusra, & Somayya, 2016). La actividad antifúngica de los extractos acuosos de *Ocimum basilicum* demostraron que una concentración de 10 mg/mL podía inhibir el crecimiento de *Fusarium oxysporum*, un hongo conocido por causar marchitez en los cultivos. Las propiedades antifúngicas del extracto de *Ocimum basilicum* se atribuyen a la presencia de taninos, conocidos agentes antimicrobianos que pueden inhibir el crecimiento de microorganismos al precipitar las proteínas microbianas y privarlos de los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. Los taninos son polifenoles vegetales acres y amargos que se unen y precipitan o comprimen las proteínas (Jacob, Carlos, & Divina, 2016). Los mecanismos de acción antifúngicos y antibacterianos de los aceites esenciales son comparables. La actividad antifúngica del aceite esencial de *Ocimum basilicum* se debe principalmente a sus compuestos principales. Numerosos estudios han demostrado que ciertos componentes de las mezclas de aceites esenciales, como el eugenol, el linalol y el metil chavicol, actúan sinérgicamente en algunos casos y, en otros, al actuar como componentes principales de la mezcla, dañan las membranas celulares y afectan a una amplia gama de otras funciones celulares, como la síntesis de energía. La alteración de la bomba de protones, la caída del potencial de membrana y la depleción de ATP se asocian con los efectos antifúngicos de los compuestos clave de *Ocimum basilicum* mencionados anteriormente. Además, los efectos de la actividad de los compuestos del aceite esencial de *Ocimum basilicum* son la coagulación del contenido celular, la fuga del citoplasma y, en última instancia, la apoptosis o necrosis celular que conduce a la muerte celular (Gucwa, Milewski, Dymerski, & Szweda, 2018).

2.4 *Ocimum basilicum* L. Actividad antioxidante

El extracto de *Ocimum basilicum* puede prevenir la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL). Además, al disminuir la producción de colesterol y moderar la función de los receptores en la superficie celular, el extracto etanólico de *Ocimum basilicum* puede disminuir la creación de células espumosas (Bravo, Amrani, Aziz, Harnafi, & Napolitano, 2008). El *Ocimum basilicum* presenta propiedades antioxidantes que podrían ofrecer protección ovárica frente a las especies reactivas de oxígeno (ROS) y es valioso para la protección de los tejidos, además de mitigar los efectos cancerígenos generados por campos electromagnéticos. Se observó que el extracto de *Ocimum basilicum* disminuyó notablemente la cantidad de células de la granulosa que sufrían apoptosis, mientras que la exposición a campos electromagnéticos a una frecuencia de 50 Hz resultó en un aumento considerable de este porcentaje. Por lo tanto, se puede considerar el extracto de *Ocimum basilicum* como un posible tratamiento antioxidante frente a la exposición a campos electromagnéticos en entornos industriales (Khaki, Khaki, Ezzatzadeh, & A-Ashteani, 2013). La hepatotoxicidad y nefrotoxicidad inducida por el acetaminofén puede disminuirse mediante el uso de extracto de *Ocimum basilicum*. Esto se atribuye a las capacidades antioxidantes del extracto y podría estar relacionado con la supresión de la producción de lípidos en el hígado (Fokou et al., 2020). La acción antioxidante se origina gracias a la interacción de cada uno de los componentes y se relaciona con la cantidad total de compuestos fenólicos presentes en el aceite esencial. Este tipo de compuesto posee la habilidad de transferir un átomo de hidrógeno a los radicales libres, así como de quesar y eliminar los cationes metálicos (Do, Truong, & Nguyen, 2020). Los aceites esenciales de *Ocimum basilicum* contienen compuestos fenólicos que son fundamentales para sus propiedades antioxidantes. Estos compuestos, gracias a sus grupos hidroxilo, poseen la capacidad de neutralizar los radicales libres, lo que los hace extremadamente valiosos. La actividad antioxidante del aceite esencial se relaciona con la presencia de eugenol y metil chavicol, que son los compuestos fenólicos predominantes en este aceite. Además, la presencia de grupos metoxi mejora

considerablemente la actividad antioxidante, ayudando a comprender el elevado potencial antioxidante del eugenol. Investigaciones indican que una reducción en la concentración de eugenol en el aceite de *Ocimum basilicum* resulta en una disminución de su capacidad para actuar como antioxidante. Por otro lado, el metil chavicol muestra un efecto antioxidante más suave en comparación con el eugenol. Es importante notar que la acción antioxidante de los aceites esenciales de *Ocimum basilicum* no se debe únicamente a los compuestos fenólicos. También influyen otros metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes. Por ejemplo, el linalool, un terpenoide significativo en este aceite, posee una capacidad antioxidante similar a la del antioxidante sintético BHT. A pesar de que el aceite esencial de *Ocimum basilicum* contiene metil chavicol (45,8 %) y linalool (24,2 %) como sus ingredientes predominantes, ha demostrado una notable capacidad para atrapar radicales, reduciendo la generación de radicales DPPH. Por lo tanto, no se puede afirmar que el componente más abundante determine siempre la actividad antioxidante de un aceite esencial, ya que los ingredientes presentes en menores cantidades también pueden operar en sinergia con otros compuestos activos, intensificando así la acción antioxidante (Zhakipbekov et al., 2023).

2.5 Fitobióticos

La exploración de compuestos bioactivos naturales, comúnmente denominados fitobióticos, representa un reto significativo para científicos, agricultores e industriales. Estos fitobióticos son reconocidos por sus propiedades beneficiosas, las cuales incluyen acciones antiinflamatorias, antioxidantes, anticancerígenas, inmunomoduladoras, hipolipidémicas, desintoxicantes, aromatizantes y digestivas. La efectividad de estos compuestos varía según la parte de la planta empleada, ya sea corteza, hojas, tallo, raíces, fruto, flor o semillas, así como según su tipo de extracción. Existen diferentes categorías de metabolitos secundarios derivados de las plantas, que incluyen taninos, polifenoles, terpenos, saponinas, flavonoides, alcaloides, cianuros y glucósidos.

En términos de aplicación, los fitobióticos se aprovechan como aditivos en la alimentación, contribuyendo a mejorar el crecimiento, el estado nutricional y los índices bioquímicos tanto en humanos como en animales. Además, pueden ser empleados en la medicina tradicional para prevenir y tratar diversas condiciones como diabetes, obesidad, cálculos renales, insomnio, gota, hemorroides, acné y problemas de visión (Ndomou & Mube, 2024).

Las plantas no sólo generan los compuestos básicos imprescindibles para su desarrollo, sino que también producen una amplia variedad de metabolitos secundarios. En las últimas décadas, los estudios han subrayado la relevante función ecológica que desempeñan estos metabolitos en áreas como la defensa contra herbívoros, hongos, bacterias, virus y otras plantas. Además, contribuyen a la atracción y promoción de procesos como la polinización, la dispersión de semillas, las simbiosis y el secuestro de nutrientes, así como a brindar protección frente a factores como la radiación ultravioleta, la pérdida de agua, temperaturas extremas y sequías (Chomel et al., 2016). Estas funciones se realizan mediante la acción de tres categorías fundamentales de metabolitos secundarios que se encuentran en las plantas: (1) terpenos, (2) flavonoides junto con compuestos fenólicos y polifenoles, y (3) sustancias que incorporan nitrógeno, conocidas como alcaloides, y azufre, como los glucosinolatos (Crozier, Jaganath, & Clifford, 2006). Para mejorar la sostenibilidad agrícola, se analiza la diversidad fitoquímica y los metabolitos secundarios de las plantas. Se destacan su importancia en la resiliencia agroecológica y su valor para los animales. Comprender estas funciones permite una gestión más sostenible de las tierras agrícolas, reduciendo insumos para plantas y animales, y promoviendo la diversidad bioquímica (Clemensen, Provenza, Hendrickson, & Grusak, 2020).

Aparte de favorecer la salud de los animales alimentados, la asimilación de diferentes compuestos metabólicos de origen vegetal aumenta la diversidad fitoquímica y bioquímica, así como el sabor y la calidad de productos como la carne, la leche y el queso que se destinan al consumo humano (Provenza, Kronberg, & Gregorini, 2019). Así, nuestra salud se encuentra interconectada

con la alimentación del ganado debido a las propiedades químicas de las plantas que ingieren. Los fitoquímicos presentes en las especies vegetales ofrecen beneficios como la reducción de la inflamación, la modulación del sistema inmunológico, las propiedades antioxidantes, así como la capacidad de combatir bacterias y parásitos, proporcionando una defensa tanto al ganado como a las personas contra diferentes enfermedades y patógenos. Los beneficios de comer carne para los humanos se acumulan a medida que el ganado convierte una gran cantidad de fitoquímicos en bioquímicos que se incorporan a su carne y grasa, que a su vez se convierten en bioquímicos saludables en el cuerpo humano, similares a los beneficios que se obtienen al comer hierbas, especias, verduras y frutas ricas en fitoquímicos (Provenza & Villalba, 2010). Estos compuestos pueden ofrecer beneficios similares a los del ganado, aliviando el estrés oxidativo y la inflamación que se relacionan con el cáncer, las enfermedades del corazón y el síndrome metabólico. A lo largo de la historia, las plantas han proporcionado medicinas para todos los seres vivos, incluidos los seres humanos. En la actualidad, varios medicamentos, como antibióticos, analgésicos y antipiréticos, se originan de plantas que naturalmente sintetizan estas sustancias químicas. Diferentes análisis destacan las múltiples ventajas para la salud que los metabolitos secundarios de las plantas aportan a los animales, incluyendo a los humanos. Existe una oportunidad de reevaluar la importancia que estos compuestos tenían para la salud antes de que surgiera la medicina moderna, al mismo tiempo que incorporamos plantas con diferentes metabolitos secundarios en nuestros cultivos y forrajes (Provenza et al., 2007). El aumento de la diversidad vegetal en los sistemas agrícolas ofrece beneficios ecosistémicos, desde el suelo hasta las plantas y los animales, y la atmósfera, mejorando así la sostenibilidad agroecológica. En el subsuelo, los metabolitos secundarios de las plantas protegen contra las larvas que se alimentan de raíces, a la vez que influyen en el ciclo de nutrientes, ya que los metabolitos carbonosos, como los taninos y los terpenos, ralentizan la mineralización del suelo, aumentando potencialmente la biomasa microbiana y, por consiguiente, el potencial de secuestro de carbono en el suelo agrícola. En la superficie, los

metabolitos secundarios de las plantas ayudan a las plantas y actúan como insecticidas cuando se desarrolla presión de defoliación. Diversas especies de plantas con diferentes metabolitos secundarios mejoran los hábitos alimenticios equilibrados, a la vez que ofrecen beneficios para la salud de herbívoros y humanos. Además, las emisiones de metano se reducen cuando el ganado pasta forrajes con taninos (Jayanegara, Togtokhbayar, Makkar, & Becker, 2009). Por lo tanto, la siembra de forrajes que contienen diferentes metabolitos secundarios vegetales puede reducir los gases de efecto invernadero al influir en la fermentación ruminal y la mineralización del suelo. Mejorar la biodiversidad vegetal y la diversidad fitoquímica asociada ofrece una progresión lógica para mejorar la resiliencia agrícola, a la vez que proporciona servicios ecosistémicos que también benefician la salud de los herbívoros y los seres humanos (Goel & Makkar, 2012).

2.6 *Salmonella*

La *Salmonella* se identifica como el patógeno más común entre diversos microorganismos que se propagan a través de los alimentos, y es responsable de un considerable número de muertes a nivel global (de Melo et al., 2021). *S. enterica* es uno de los microorganismos bacterianos más comunes presentes en alimentos en México, según Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE) (Godínez-Oviedo, Tamplin, Bowman, & Hernández-Iturriaga, 2020). Entre los microorganismos más comunes responsables de infecciones transmitidas por alimentos, que afectan a animales tanto acuáticos como terrestres, así como a los seres humanos, uno de los patógenos más frecuentemente aislados es *Salmonella* (Ehuwa, Jaiswal, & Jaiswal, 2021).

Salmonella es una bacteria gramnegativa, anaerobia facultativa, no esporulante y con forma de bastón que pertenece a la familia *Enterobacteriaceae* (Waldman, Souza, Fonseca, Ikuta, & Lunge, 2020). Son organismos mesófilos que tienen la capacidad de crecer en un rango de temperaturas que va desde 5 hasta 46 °C, siendo su rango óptimo de desarrollo entre 35 y 37 °C. No son capaces de

reproducirse cuando la actividad del agua (Aw) es de 0.94, particularmente si el pH se encuentra en 5.5 o en niveles inferiores, mostrando además una menor tolerancia cuando el pH es de 4.5 o menos (Keerthirathne, Ross, Fallowfield, & Whiley, 2016). Las células de esta bacteria tienen la capacidad de reproducirse en una variedad de alimentos y pueden soportar condiciones de congelación o deshidratación por largos períodos sin perder su potencial patógeno. Asimismo, los estudios indican que la *Salmonella* es capaz de subsistir en entornos con altos niveles de sal (Petrin et al., 2022). *Typhimurium* y *Enteritidis* son dos serovares de *Salmonella* que no pertenecen a la variedad tifoidea, caracterizándose por una amplia diversidad en los anfitriones que pueden infectar. En contraste, ciertos serotipos como *Sendai*, *Typhi* y *Paratyphi* (en sus variantes A, B y C) son exclusivos para infectar a los humanos. Los serovares no tifoideos tienen la capacidad de provocar gastroenteritis que puede variar desde leve hasta severa, presentando síntomas tales como vómitos, diarrea y náuseas; en casos raros, pueden ocasionar bacteriemia, lo cual implica la propagación de la infección en el cuerpo. Hay tres formas clínicas principales de salmonelosis: gastroenteritis, septicemia y fiebre tifoidea (Crump, Sjölund-Karlsson, Gordon, & Parry, 2015). En una investigación realizada por Munck et al. (2020), se reconocieron nueve fuentes potenciales de *Salmonella*: aves, biosólidos, suelo y compost, mascotas, caballos, aves de granja, cerdos, reptiles, animales rumiantes y fauna silvestre. Las salmonelas se encuentran en el sistema digestivo de tanto animales domésticos como salvajes. Se sabe que las aves silvestres son un reservorio de estas bacterias. El organismo reside en los intestinos de las aves infectadas y puede no causar síntomas clínicos evidentes, salvo fiebres intermitentes. Las aves migratorias son motivo de especial preocupación. Por ejemplo, existen varios puntos en Ucrania donde estas aves migratorias anidan en sus viajes entre Europa, África y Asia. Estas zonas se consideran focos de *Salmonella*, desde donde el patógeno se distribuye a diferentes partes del mundo (Obukhovska, 2013). Históricamente, las plantas no han sido consideradas como anfitriones de patógenos que afectan a los humanos, como la *Salmonella*; sin embargo, en años recientes,

los entornos de estos microorganismos han experimentado transformaciones significativas (Lenzi, Marvasi, & Baldi, 2021). La *Salmonella* genera enzimas periplásmicas que tienen la habilidad de descomponer las capas externas de las plantas. No obstante, la infiltración de estas enzimas en las estructuras vegetales está condicionada por el manejo de pectina y poligalacturonato, así como por la existencia de lesiones fisiológicas (Abbott & Boraston, 2008). Los integrantes de la familia Enterobacteriaceae son capaces de ingresar a través de las estomas de las hojas, así como en las raíces y las partes hidratadas de las plantas. Las plantas que han sido contaminadas, ya sea antes o después de ser cosechadas, no muestran indicios de deterioro, mientras que los microorganismos pueden afectar el producto en ambos momentos. Durante la etapa de cultivo, el producto está en riesgo de contaminación por *Salmonella* debido al contacto con fauna silvestre, al uso de agua de riego contaminada y a la aplicación de estiércol sin tratar. La falta de medidas adecuadas de higiene entre los trabajadores agrícolas, junto con el uso de inodoros móviles y la ausencia de estaciones adecuadas para el lavado de manos, incrementa el riesgo de diseminación de patógenos antes y durante la recolección. Tras la cosecha, la propagación de la contaminación en el producto se atribuye mayormente a un manejo inadecuado de la higiene (Luna-Guevara, Arenas-Hernandez, Martínez de la Peña, Silva, & Luna-Guevara, 2019).

De forma similar a estos desafíos, el tratamiento de la infección por *Salmonella* no tifoidea difiere del de la *Salmonella* tifoidea. El uso frecuente de antibióticos para tratar la infección por *Salmonella* no tifoidea aumenta las recaídas y prolonga la duración del estado de portador gastrointestinal. La salmonelosis no tifoidea es una enfermedad autolimitada, y los antibióticos no afectan los signos clínicos de diarrea y fiebre, a diferencia del síndrome de inmunodeficiencia adquirida. A pesar de las limitaciones mencionadas, el desarrollo de aislados de *Salmonella* multirresistentes complica el tratamiento y la gestión de varios serovares que infectan a los homeotermos. En términos generales, ninguna vacuna es eficaz contra todas las formas de *Salmonella* (Mkangara, 2023).

2.7 *Escherichia coli*

La resistencia a los antimicrobianos, conocida como RAM, es un fenómeno complejo y multifacético que resulta de diversos e innumerables factores (Benedict et al., 2015). Si bien la RAM es un componente inherente al desarrollo de las bacterias, su avance y expansión han aumentado notablemente, influenciados, entre otros elementos, por la utilización de antimicrobianos en la práctica médica tanto en humanos como en animales (Celis-Bustos, Rubio, & Camacho-Navarro, 2017). *Escherichia coli* se encuentra como el microorganismo más frecuente en el sistema digestivo de humanos y animales de sangre caliente, representando un patógeno habitual que se propaga a través de los alimentos en personas a nivel global (Kaper, Nataro, & Mobley, 2004). La mayor parte de las variantes de *E. coli* son parte de la flora intestinal sin causar daño; no obstante, determinadas cepas son responsables de infecciones en el sistema digestivo, mientras que otras pueden provocar infecciones en vías urinarias, del sistema nervioso y en el organismo en general (Leimbach, Hacker, & Dobrindt, 2013). Además, *Escherichia coli* es comúnmente seleccionada como un indicador de gramnegativos en la resistencia antimicrobiana gracias a su habilidad para contener múltiples factores de resistencia y para transmitir dicha resistencia a bacterias que podrían ser patógenas o zoonóticas (Catry, Laevens, Devriese, Opsomer, & de Kruif, 2003). La *E. coli* también está presente en una cantidad significativa en las heces de animales. A causa del uso inadecuado y excesivo de antibióticos, la *E. coli* originaria de los animales presenta resistencia a varios tipos de antibióticos, incluyendo tetraciclinas, aminoglucósidos, β -lactámicos, fluoroquinolonas y cefalosporinas de tercera generación, entre otros (García-Béjar, García de Blas Martín, Arévalo-Villena, & Briones-Pérez, 2021). En ciertas instalaciones de gestión de residuos y cuerpos de agua, las concentraciones de *E. coli* AR (resistencia antimicrobiana) alcanzaron niveles de hasta 10–105 UFC/mL, superando el umbral permitido para el agua

destinada al riego (10 UFC/100 mL), lo que constituye un grave riesgo para la salud pública (Hamelsveld et al., 2019).

En lo que respecta a las etapas clave de la cadena de suministro alimentario hallazgos apuntan con claridad a la posible difusión de *E. coli* resistente a la colistina desde la granja hasta el consumidor. Los animales criados para la producción alimentaria en la granja pueden ser vistos como la fuente primaria y el reservorio de *E. coli* resistente a la colistina, debido a la elevada utilización de este antimicrobiano en el ganado durante décadas (H. Kumar et al., 2020). A causa de la presión de selección ejercida por el uso de colistina en la granja, los animales criados para la producción alimentaria tienen en su microbiota fecal una significativa cantidad de bacterias que presentan resistencia (Liu et al., 2016). La interacción entre plantas, agua, organismos acuáticos o fauna silvestre, así como los excrementos de animales utilizados en la producción alimentaria, puede facilitar la propagación de la resistencia a los antimicrobianos en el entorno, los alimentos y la fauna. Esto puede ocurrir a través de la contaminación cruzada, el uso de fertilizantes, el riego, los sistemas agrícolas integrados o la polución ambiental (Anyanwu, Jaja, & Nwobi, 2020). Asimismo, la presencia de *E. coli* resistente a la colistina en el intestino de animales criados para la producción de alimentos podría facilitar la contaminación cruzada en las canales durante los procesos de sacrificio y elaboración. Esta contaminación cruzada, relacionada con bacterias o genes resistentes a los antimicrobianos, puede extenderse a otros productos alimenticios en las etapas finales de la cadena de suministro. Esto podría ser una explicación para la alta frecuencia de detección de *E. coli* resistente a la colistina, observados en el ámbito alimentario, así como la elevada prevalencia que se estima en muestras de carne y órganos internos. Estudios sugieren que también los huevos, la leche y los productos lácteos podrían ser posibles fuentes de *E. coli* con resistencia a la colistina. Sin embargo, se requiere más investigación para evaluar el riesgo relativo que estos alimentos, en especial los huevos, podrían representar para la salud pública y la seguridad alimentaria (Cabello, Godfrey, Buschmann, & Dölz, 2016).

Se han implementado diversas medidas para reducir la resistencia a los antibióticos, tales como la prohibición completa del uso de antibióticos en animales que se destinan al consumo humano, la aplicación cuidadosa de antibióticos tradicionales, y la creación de opciones que no incluyan antibióticos, entre otras (C. R. Lee, Cho, Jeong, & Lee, 2013). Los productos derivados de plantas son fundamentales en la inhibición del crecimiento bacteriano y se están evaluando como opciones a los antibióticos dado su impacto beneficioso en la diarrea coliforme provocada por *E. coli* resistente (Rabelo-Ruiz et al., 2021). Investigaciones muestran que aceites esenciales de plantas, como terpenoides y fenilpropenos, tienen actividad antimicrobiana contra *E. coli* (El-Hack et al., 2022).

2.8 *Candida albicans*

Candida albicans se considera el hongo patógeno más prevalente en la población humana. Esta levadura ha sido catalogada como un comensal en las mucosas de humanos y animales, y ha habido escasos estudios dedicados a su aislamiento en hábitats naturales, posiblemente a causa de la limitada sensibilidad de las técnicas de cultivo tradicionales. Recientes investigaciones han evidenciado la presencia de ADN de *C. albicans* en muestras de suelo, logrando, por primera vez, detectar trazas de ADN de esta levadura en el 1.5 % de un total de 460 muestras de tierra provenientes de Francia. Además, la capacidad de supervivencia de esta levadura indica que las características químicas del suelo influyen en la capacidad de supervivencia de *C. albicans*. Posiblemente existan nichos ambientales para *Candida albicans*, que tradicionalmente se ha visto como un comensal exclusivo de las mucosas de los seres humanos (Sautour et al., 2021).

Los hongos que causan enfermedades constituyen un desafío notable para el bienestar humano. Las infecciones por hongos invasivos han evolucionado hacia un problema de salud pública global que sigue en aumento, debido en gran parte al aumento de individuos vulnerables (Loh & Lam, 2023). Las

proyecciones a nivel global indican que cerca de 1,9 millones de individuos son impactados anualmente por infecciones fúngicas agudas invasivas, mientras que alrededor de 3 millones padecen de infecciones crónicas fúngicas severas (Fang et al., 2023). El aumento en la aparición de especies que muestran resistencia a los antifúngicos, combinado con la presencia de coinfecciones fúngicas provocadas por otros agentes patógenos, intensifica esta problemática de salud pública. La candidiasis es una infección que aprovecha las oportunidades asociadas a la atención médica, provocada por hongos del grupo *Candida*, que normalmente son organismos comensales que habitan en el sistema gastrointestinal humano, la boca, el área genital femenina y la dermis (Schmiedel & Zimmerl, 2016). Es fundamental mencionar que, aunque *C. krusei* y *C. glabrata* suelen ser consideradas junto a las especies tradicionales de *Candida*, pertenecen a diferentes categorías filogenéticas. En el año 2022, la Organización Mundial de la Salud (OMS) elaboró una lista de hongos patógenos que merece especial atención, dividiéndolos en tres niveles de prioridad. Dentro de esta clasificación, *C. auris* y *C. albicans* son catalogadas como patógenos de suma importancia. Por otro lado, *C. glabrata*, *C. parapsilosis* y *C. tropicalis* están en la categoría de alta prioridad, mientras que *C. krusei* se encuentra en el grupo de prioridad media. Las infecciones ocurren cuando estos microorganismos penetran la piel o las membranas mucosas, frecuentemente como resultado de intervenciones médicas o debido a problemas de salud existentes (Lass-Flörl et al., 2024). Es interesante observar que se ha registrado una fuerte presencia de *Candida* en diversas condiciones autoinmunes, como la psoriasis y la enfermedad inflamatoria intestinal (Elsner et al., 2022). La aparición de organismos con resistencia múltiple, como *C. auris* y *C. glabrata*, presenta un desafío notable para el tratamiento, pudiendo eliminar por completo las posibilidades de intervención terapéutica. Este fenómeno no solo complica la atención que se brinda a los pacientes, sino que también favorece la capacidad de estas cepas resistentes de perdurar en entornos de atención médica. Estas nuevas tendencias en resistencia enfatizan la urgente necesidad de desarrollar estrategias efectivas de manejo y

programas para optimizar el uso de antifúngicos, con el fin de combatir la resistencia a los fármacos y mantener la efectividad de los tratamientos antifúngicos disponibles. Además, los tratamientos antifúngicos en la actualidad conllevan un importante riesgo de toxicidad para el paciente. Estos medicamentos pueden perjudicar varios sistemas orgánicos, siendo particularmente nocivos para el sistema nervioso, gastrointestinal y urinario (Yang et al., 2021). La creciente resistencia a los antifúngicos plantea la necesidad de crear nuevos tratamientos que combatan las infecciones por *Candida* a través de diversos mecanismos o en conjunto con medicamentos existentes para potenciar su efectividad. En este contexto, la investigación sobre las capacidades antifúngicas de las plantas ha adquirido relevancia significativa. Las plantas medicinales han sido empleadas desde tiempos antiguos y continúan siendo apreciadas como posibles fuentes de terapias innovadoras (Jadimurthy et al., 2023). Un reto significativo al utilizar extractos de plantas es la inconsistencia en las cantidades de compuestos bioactivos, lo cual se debe a las variaciones en los métodos de extracción, los solventes empleados, los orígenes botánicos y diferentes condiciones ambientales. Asegurar resultados fiables y reproducibles requerirá la estandarización de los métodos de extracción junto con el aislamiento de los fitoquímicos específicos que son responsables de la actividad antifúngica. Es fundamental que las entidades reguladoras creen normas precisas para los procedimientos de extracción, las pruebas de eficacia y las evaluaciones de seguridad, asegurando un etiquetado, envasado y licencias correctas que cumplan con los estándares de seguridad esenciales para la protección del consumidor (Esmaeili, Saleh, & Abu-Dieyeh, 2025).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Experimento 1

2.1.1. Ubicación del experimento

Las diferentes variedades de albahaca se establecieron en marzo de 2023 en un invernadero con cubiertas plásticas corredizas y malla antiáfidos de control semiautomático ubicado en la Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Durango 25° 38' 19.83" latitud norte, 103° 31' 52.12" longitud oeste. Los valores de temperatura y humedad relativa del invernadero se mantuvieron entre 25 a 30 °C y 70-80%, respectivamente. Las variedades de albahaca utilizadas fueron Thai, Red rubin, Emily, Lemon, Anis, Nufar, Napolitano, White y Cinnamon.

2.1.2. Establecimiento de cultivares

Se plantaron nueve variedades distintas de albahaca, cuyas semillas se adquirieron online en la empresa Group Alter Mex. La siembra se realizó en bandejas de germinación de poliestireno de 250 cavidades y se utilizó turba como sustrato. Las bandejas se regaron dos veces al día con agua hasta el día del trasplante. Cuando las plántulas tenían de tres a cuatro hojas verdaderas y una altura de 10 a 15 cm, se trasplantaron a macetas de plástico negras de un galón, que contenían una mezcla de arena:perlita (80:20).

2.1.3. Preparación de muestras y obtención de extractos

Después del trasplante, se dejaron transcurrir 35 días y se tomaron muestras de hojas de las nueve variedades de albahaca hasta obtener muestras de todas las plantas del experimento. Todas las muestras se lavaron con agua destilada y el exceso se eliminó sobre papel canela. El proceso de secado se realizó a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) durante 15 días. Después de la deshidratación, las muestras pasaron por un proceso de molienda hasta obtener polvo. Este proceso se llevó a cabo en una licuadora (Hamilton Beach). Posteriormente, las muestras pulverizadas se almacenaron a temperatura ambiente, en bolsas de papel canela, para la posterior obtención de extractos (Abkhoo & Jahani, 2016). Los extractos se obtuvieron mediante la técnica de extracción sólido-líquido agregando 1 g de cada una de las muestras pulverizadas colocadas en tubos de ensayo. Se agregaron 10 mL de etanol marca Jalmek. Se utilizó un agitador automatizado durante 24 h (Stuart®) para mantener la mezcla en agitación a temperatura ambiente (25 ± 2 °C). Después del tiempo de agitación, las muestras se dejaron reposar en un rack para el desfasaje y precipitación de cada muestra. Al observar la separación se obtuvo el extracto, quedando la muestra precipitada en los tubos. Los extractos se concentraron para obtener los compuestos de interés con un evaporador rotatorio (Buchí, modelo-210) y baño maría (RIOSA, México) a 35 – 40 °C. Los extractos obtenidos se almacenaron ultracongelados a -20 °C hasta su análisis (Ramírez-Aragón et al., 2019).

2.1.4. Cuantificación de fenoles totales (TPC)

La determinación de compuestos fenólicos totales se realizó por espectrofotometría (equipo Genesys® 10 UV, USA), con base en la reacción redox colorimétrica según Lillo, Carvajal-Caiconte, Nuñez, Balboa, and Alvear-Zamora (2016) con algunas modificaciones. A 30 μ L de extracto, se adicionaron 2 mL de agua destilada y 250 μ L de reactivo Folin-Ciocalteu (grado analítico, Sigma-Aldrich, St. Louis MO, USA). Posteriormente, se agregó 1 mL de Na₂CO₃ al 10 % p/v, y la mezcla se llevó a un volumen final de 5 ml con agua destilada. Las muestras se leyeron a una longitud de onda de 765 nm después de permanecer a temperatura ambiente y en ausencia de luz durante 1 hora. Para el cálculo de fenólicos totales, se realizó una curva de calibración con ácido gálico grado analítico (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, USA). El contenido fenólico se expresó en mg GAE g-1 PS (mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco).

2.1.5. Cuantificación de flavonoides totales (FVT)

Los flavonoides se cuantificaron mediante un análisis espectrofotométrico (equipo Genesys® 10 UV, USA) basado en la formación de un complejo entre los iones Al (III) y los grupos carbonilo e hidroxilo del flavonoide, como lo describe Lillo et al. (2016) con algunas modificaciones. 50 μ L de extracto se mezclaron con 100 μ L de AlCl₃ al 5 % p/v en etanol, 100 μ L de acetato de sodio 1M y se llevó a un volumen final de 5 ml con metanol grado analítico (JT Baker). Los compuestos flavonoides se midieron a una longitud de onda de 425 nm después de permanecer en la oscuridad durante 30 minutos. Se realizó una curva de calibración con quercetina grado analítico (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, USA) previo a la lectura. El contenido de flavonoides se expresó en mg QE g-1 DW (mg equivalentes de quercetina por gramo de peso seco).

2.1.6. Determinación de la capacidad antioxidante (AOX)

La capacidad antioxidante se midió de acuerdo con la metodología propuesta por Chaves, Santiago, and Alías (2020) con modificaciones. El radical ABTS (ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) se obtuvo a través de la reacción de ABTS (7 mM) con persulfato de potasio (K₂S₂O₈) 2,45 mM, luego se llevó a un volumen de 10 ml con agua y se incubó a temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) en oscuridad durante 18 horas. El radical ABTS se diluyó en etanol para obtener un valor de absorbancia entre 0,7 ($\pm 0,1$) a una longitud de onda de 754 nm. Los extractos se disolvieron en etanol a una concentración de 200 mg L⁻¹. Luego, 50 μL de muestra y 1.950 μL de ABTS se colocaron en un tubo de ensayo, se agitaron durante 1 minuto y se mantuvieron en oscuridad durante 10 minutos. Despues de la reacción, se leyó la absorbancia a 754 nm (espectrofotómetro UV Genesys 10, EE. UU.). Los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición en micromoles de equivalentes de Trolox por gramo de peso seco ($\mu\text{mol Trolox g}^{-1} \text{ DW}$).

Otro método utilizado para AOX fue el DPPH. Para lograrlo, se preparó una solución madre de radicales DPPH 10–3 M en etanol o metanol antes del análisis. Para la preparación de la solución DPPH, se diluyeron 3 mL de la solución madre a 50 mL con metanol en un matraz volumétrico y la mezcla se protegió de la luz utilizando papel de aluminio. Los valores de absorbancia se ajustaron a $1,00 \pm 0,200$. Posteriormente, se añadieron 3 mL de la solución de trabajo de DPPH a 0,5 mL del extracto, se mezcló y se mantuvo en la oscuridad durante 30 minutos. El color púrpura se desvanece cuando hay un antioxidante presente en la mezcla de reacción. Se preparó una muestra de referencia que contenía 0,5 mL del disolvente de la misma manera. Una solución de radicales DPPH recién preparada exhibe una absorción máxima a 517 nm. Todos los análisis se realizaron por triplicado y la absorbancia se midió a 517 nm. La muestra en blanco es la mezcla de reacción sin los compuestos de prueba (Gulcin & Alwasel, 2023).

2.1.7. Determinación de compuestos específicos

La separación y cuantificación de ácido gálico, morina y ácido ferúlico se realizó mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, Agilent Technologies, EE. UU.) en condiciones desarrolladas inicialmente por Shan, Cai, Sun, and Corke (2005). El método fue detallado previamente por Nguyen and Niemeyer (2008). Este método se adaptó a las condiciones del equipo de laboratorio, utilizando un gradiente de dilución con ácido fórmico al 10% (Sigma Aldrich) (dilución A) y metanol al 80% (ITEMS, México) (dilución B) como fases móviles. El HPLC estaba equipado con un flujo de inyección de 5 μ L y una columna C-18 de Agilent Technologies, EE. UU. (5 μ m, 4,6 mm x 50 mm).

Antes del análisis, los extractos de albahaca se filtraron utilizando microdiscos Millex GS con un tamaño de poro de 45 micrones. Los compuestos específicos se identificaron utilizando la absorbancia a una longitud de onda de 280 nm comparando los tiempos de retención de la cromatografía con los estándares analíticos de Sigma Aldrich. Cada compuesto se cuantificó comparando las áreas de los picos integrados con las curvas de calibración externas y se informó como miligramos de ácido gálico, morina y ácido ferúlico por gramo de muestra (mg g-1).

2.1.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza utilizando el programa SAS 9.0 y las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba LSD con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. Se utilizó un diseño de bloques al azar, con tres repeticiones por tratamiento.

3.2 Experimento 2

3.2.1. Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED).

3.2.2. Establecimiento de cultivares

Se plantaron cuatro variedades distintas de albahaca Thai, Persa, Genovesa y Red Rubin, cuyas semillas se adquirieron online en la empresa Group Alter Mex. La siembra se realizó en bandejas de germinación de poliestireno de 250 cavidades y se utilizó turba como sustrato. Las bandejas se regaron dos veces al día con agua hasta el día del trasplante. Cuando las plántulas tenían de tres a cuatro hojas verdaderas y una altura de 10 a 15 cm, se trasplantaron a macetas de plástico negras de un galón, que contenían una mezcla de vermicomposta:perlita (80:20).

3.2.3. Preparación de muestras y obtención de extractos

Después del trasplante, se dejaron transcurrir 35 días y se tomaron muestras de hojas de las cuatro variedades de albahaca hasta obtener muestras de todas las plantas del experimento. Todas las muestras se lavaron con agua destilada y el exceso se eliminó sobre papel canela. El proceso de secado se realizó a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) durante 15 días. Después de la deshidratación, las muestras pasaron por un proceso de molienda hasta obtener polvo. Este proceso se llevó a cabo en una licuadora (Hamilton Beach). Posteriormente, las muestras pulverizadas se almacenaron a temperatura ambiente, en bolsas de papel canela, para la posterior obtención de extractos (Abkhoo & Jahani, 2016). Los extractos se obtuvieron mediante la técnica de extracción sólido-líquido agregando 1 g de cada una de las muestras pulverizadas colocadas en tubos de ensayo. Se agregaron 10 mL de etanol

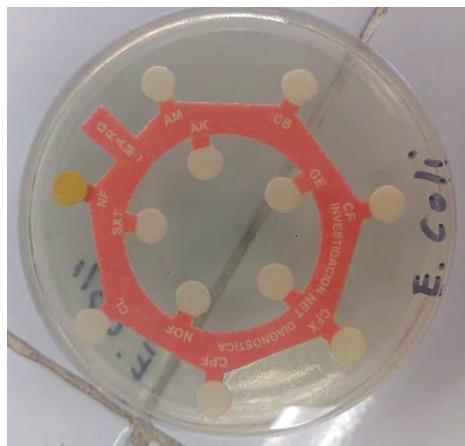
marca Jalmek. Se utilizó un agitador automatizado durante 24 h (Stuart®) para mantener la mezcla en agitación a temperatura ambiente (25 ± 2 °C). Después del tiempo de agitación, las muestras se dejaron reposar en un rack para el desfasaje y precipitación de cada muestra. Al observar la separación se obtuvo el extracto, quedando la muestra precipitada en los tubos. Los extractos se concentraron para obtener los compuestos de interés con un evaporador rotatorio (Buchí, modelo-210) y baño maría (RIOSA, México) a 35 – 40 °C. Los extractos obtenidos se almacenaron ultracongelados a -20 °C hasta su análisis (Ramírez-Aragón et al., 2019).

3.2.4. Estandarización del tamaño del inóculo

Se tomaron de 2 a 5 colonias de cada cultivo, se suspendieron en tubos con 3 ml de solución salina estéril, y la turbidez se ajustó a 0.5 del estándar de Mac Farland que equivalen a 1.5×10^8 UFC/mL. Posteriormente, se colocaron 100 μ L de esta muestra estandarizada sobre el centro de la caja Petri con el agar indicado para cada especie microbiana y se homogenizaron con un hisopo estéril.

3.2.5. Prueba de multidiscos para antibiograma

Se reactiva la bacteria de la cepa clínica original en una caja Petri con agar MacConkey, se siembra de forma uniforme en toda la caja con ayuda de un asa bacteriológica para después con ayuda de unas pinzas de disección cuidadosamente colocar el antibiograma en el centro de la caja y asegurarse que se quede fijo en el agar sin clavarlo ni romper el mismo. En este caso se utilizó el antibiograma negativos puesto que trabajamos pertenece



específico para Gram la bacteria con la que a esta clasificación.

Figura 2. Prueba de antibiograma realizada en el laboratorio E.coli

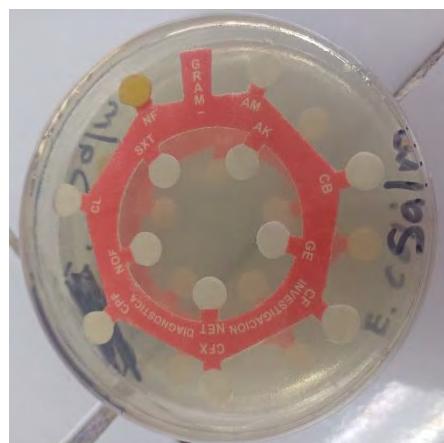


Figura 3. Prueba de antibiograma realizada en el laboratorio Salmonella

3.2.6. Determinación de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) por el método colorimétrico Alamar azul (MABA)

La resistencia de las cepas a los medicamentos fue evaluada mediante el método MABA, que emplea un colorante redox como indicador del crecimiento celular y su metabolismo. En este proceso, el color en su forma oxidada se presenta como azul, mientras que la forma reducida aparece en rosa. La cuantificación se realiza en unidades relativas de fluorescencia, y el cambio de color se puede observar de manera visual (Collins & Franzblau, 1997). Esta característica es utilizada para evaluar la viabilidad de salmonella, e. coli y candida tras su exposición a fármacos.

Se llevó a cabo la realización de los experimentos tal como lo han indicado Luna-Herrera y sus colaboradores (Luna-Herrera, Costa, González, Rodrigues, & Castilho, 2007).

Las placas fueron envueltas en una bolsa de plástico para prevenir la pérdida de líquido y se mantuvieron a una temperatura de 37°C durante 24 horas. Luego, se incorporó el colorante resarzurina como revelador, siguiendo las siguientes pautas: se añadieron 20 µL de resarzurina a los pozos de problemas y controles, y se incubó nuevamente por 24 horas. Para determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI), se tomó como referencia el control diluido 1:100. Si no se observó cambio de color en el primer control, se dejó incubar de 2 a 3 días adicionales; si se produjo el cambio de color, se procedió a agregar el colorante a toda la placa (Martin, Portaels, & Palomino, 2007).

Los hallazgos de MABA se obtuvieron tras un periodo promedio de incubación de 24 horas. La sensibilidad se evaluó al determinar la concentración mínima inhibitoria para cada uno de los extractos, lo que permitió establecer los resultados de sensibilidad y resistencia para cada tipo de variedad de albahaca. A partir de estos resultados, fue clasificado: resistencia y sensibilidad.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Compuestos fenólicos

En este estudio, los valores de TPC oscilaron entre 1,4 y 8,2 mg GAE g ⁻¹ DW, con el *Ocimum basileicum* Napolitano tiene el mayor contenido de TPC y la variedad tailandesa la concentración más baja. Las nueve variedades analizadas mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Las variedades Red Rubin y Emily reportaron valores estadísticamente similares, al igual que las variedades Anis y Nufar (Figura 1).

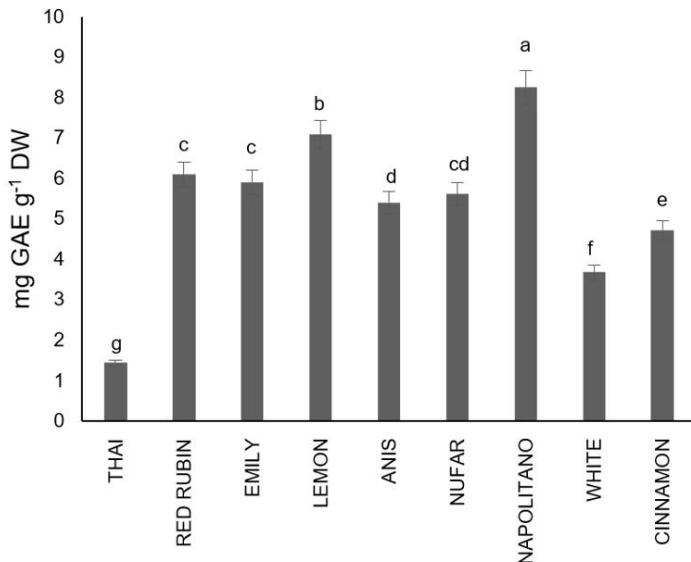


Figura 4. Concentración de ácidos fenólicos en nueve variedades de albahaca.

^{ag} Letras diferentes indican diferencias estadísticas en $p < 0,05$ para cada muestra.

4.2 Flavonoides totales

Para la concentración de FVT, el *Ocimum*. Las variedades de *basilicum* Anis, Lemon, Emily, Red Rubin, Napolitano, Nufar, Cinnamon, White y Thai obtuvieron valores de 54,7, 49,12, 46,7, 46,1, 42,9, 40,6, 39,6, 23,7 y 8,1 mg QE g⁻¹ PS respectivamente (Figura 2), mostrando que la variedad Thai tuvo los valores más bajos tanto en TPC como en FVT en comparación con las otras variedades analizadas.

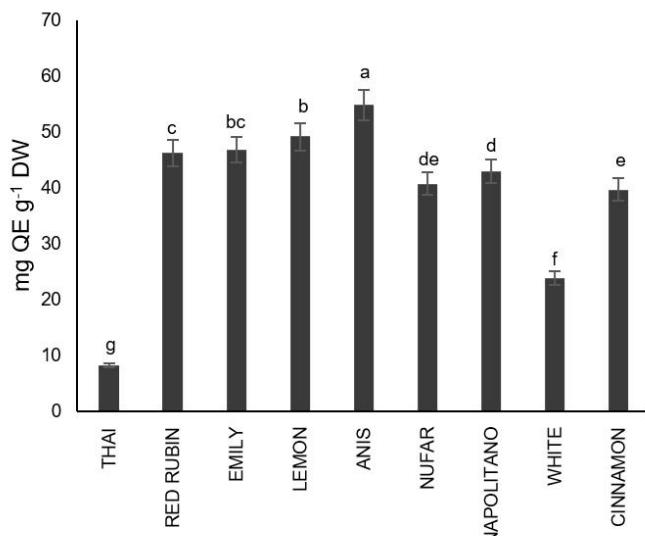


Figura 5. Concentración de flavonoides totales en nueve variedades de albahaca

^{ag} Letras diferentes indican diferencias estadísticas en $p < 0,05$ para cada muestra.

4.3 Capacidad antioxidante

Este estudio demostró propiedades captadoras de radicales libres, indicando los valores obtenidos capacidades antioxidantes (AOX) basadas en la eliminación de radicales libres mediante las técnicas ABTS y DPPH. Se observó que los valores de actividad eliminadora de radicales libres fueron mayores cuando se utilizó la técnica ABTS. La mayoría de las variedades analizadas reportaron valores mayores con la técnica ABTS en comparación con la técnica DPPH (Tabla 1).

Los valores de AOX informados en este estudio variaron de 5394 a 602 y de 6364 a 5277,9 $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ DW para las técnicas DPPH y ABTS, respectivamente. La variedad Nufar mostró valores más altos en comparación con los demás fenotipos analizados, mientras que la variedad Thai tuvo la menor concentración de AOX utilizando la técnica DPPH. Cuando se utilizó la técnica ABTS, las variedades Nufar, Anís, Napolitano, Limón y Canela no mostraron diferencias significativas entre sí, mostrando valores mayores en comparación con la técnica DPPH. La variedad Thai tuvo la concentración más baja en la técnica ABTS, consistente con la técnica DPPH; sin embargo, los valores obtenidos con la técnica ABTS mostraron una mayor eliminación de radicales que con la técnica DPPH (Tabla 1).

Tabla 1. Actividad antioxidante de nueve variedades diferentes de *Ocimum basilicum* por ensayo DPPH y ABTS.

Genotipo	DPPH	ABTS
	µmol Trolox g ⁻¹ DW	
tailandés	602,4 ^f	5277,98 libras
rubí rojo	3742,3 litros	6027.98c
emily	5266.1a	6001.19c
Limón	5352.4a	6364.29a
anís	3025.0e	6334.52a
Nufar	5394.0 ^{un}	6331.55a
Napolitano	4837,5 ^{a.C.}	6310.71a
Blanco	4507.1c	6167.86b
Canela	5221.4 ^{ab}	6295.83a

^{af} Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas en $p < 0,05$ para cada muestra.

4.4 Compuestos específicos (ácido gálico, morín y ácido ferúlico)

De acuerdo con los resultados obtenidos para compuestos fenólicos y flavonoides específicos, se reportó que, para el ácido gálico, la variedad Thai, con 8.4 mg GA g⁻¹, contiene la mayor concentración de ácido gálico, mientras que las variedades *Ocimum White* y *Ocimum Cinnamon* no. Informar la presencia de ácido gálico. Respecto al flavonoide morín, la variedad Albahaca Limón presentó la mayor concentración de este compuesto con un valor de 2,1 mg MOR g⁻¹. Por otro lado, las variedades Blanca y Canela no reportaron concentración de morín, coincidiendo con la ausencia de ácido gálico en estas dos variedades. En cuanto a la concentración de ácido ferúlico, los valores oscilaron entre 0,018 y 9,42 mg FA g⁻¹ para las variedades Canela y Thai, respectivamente. De los valores reportados se observa que la variedad Thai presenta la mayor cantidad tanto de ácido gálico como de ácido ferúlico, ambos ácidos fenólicos. Respecto al flavonoide morín, la variedad Limón presentó la mayor concentración de este flavonoide, y en el análisis de flavonoides totales fue una de las variedades con mayor concentración (Tabla 2).

Tabla 2. Metabolitos secundarios específicos de nueve variedades diferentes de *Ocimum basílica*.

Genotipo	ácido gálico	morín mg g ⁻¹	ácido ferúlico

tailandés	8,46 ^{un}	1,81c	9,42 ^{un}
rubí rojo	4.82c	1,97 millones	8,64 millones
emily	4,79 céntimos	1,53 días	5.01e
Limón	6,20 ^b	2.13a	6.58c
anís	1,65 francos	0,68 ^{mi}	0,86 gramos
Nufar	3.50d	1,98 millones	5,41 días
Napolitano	3.16 ^{mi}	0,68 ^{mi}	1,16 ^f
Blanco	0,0 gramos	0,0 ^f	0,11 horas
Canela	0,0 gramos	0,0 ^f	0,018 horas

^{ah} Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas en $p <0,05$ para cada muestra.

4.5 Discusión compuestos fenólicos

Un estudio realizado en extractos de hojas de tres variedades diferentes de albahaca informó concentraciones de compuestos fenólicos que oscilaron entre 5,5 y 7,1 mg GAE g⁻¹ FW. Estos resultados son consistentes con los hallazgos del estudio actual. Las variedades utilizadas por Prinsi, Morgutti, Negrini, Faoro, and Espen (2020) fueron Italiano Classico, Red Rubin y Dark Opal, que mostraron concentraciones similares a las variedades Red Rubin, Lemon, Anise y Nufar analizadas en este estudio. Por otro lado, las variedades Thai y White mostraron concentraciones más bajas que las mencionadas anteriormente.

Otro estudio informó valores de TPC que oscilaron entre 1,14 y 0,89 mg GAE g⁻¹ DW en extractos de hojas de albahaca utilizando diferentes solventes para la extracción (Do et al., 2020). A pesar de que uno de los solventes solía ser el mismo que en este estudio (etanol), sus resultados reportados son significativamente más bajos que los encontrados en este estudio, donde el valor más bajo registrado fue 1,4 mg GAE g⁻¹ DW.

En cuanto al contenido total de fenol en la albahaca, cabe destacar que los valores reportados en la literatura pueden diferir hasta en un orden de magnitud. Esta variabilidad probablemente se deba a factores como las diferencias en el momento de la cosecha de las plantas, el uso de tejidos frescos versus secos para el análisis y los enfoques metodológicos empleados. Los estudios que evalúan las concentraciones totales de fenol en los tejidos de las hojas secas de varias variedades de albahaca han encontrado rangos de 5 a 27 mg GAE g⁻¹ DW (Kwee & Niemeyer, 2011) (Flanigan & Niemeyer, 2014).

4.6 Discusión flavonoides totales

Según la literatura revisada, un estudio analizó extractos de albahaca dulce para el contenido total de flavonoides, variando las temperaturas y concentraciones del solvente de extracción. Encontraron valores que oscilaban entre 18,8 y 24,2 mg QUE g-1 DW (Qazizadah, Nakasha, Sinniah, & Wahab, 2023). Comparando estos resultados con los obtenidos en el estudio actual, los valores reportados son más de un 40 % más altos para la mayoría de los genotipos evaluados. La variedad White coincide con los valores reportados por Qazizadah et al. (2023); sin embargo, la variedad Thai mostró valores hasta un 50 % más bajos para el contenido total de flavonoides (TFC). Vale la pena señalar que se ha reportado que la variedad *Ocimum* Thai tiene las concentraciones más bajas para la mayoría de las variables antioxidantes evaluadas. Otro artículo que estudió diferentes variedades de albahaca reportó concentraciones de TFC que oscilaban entre 7,1 y 23,8 mg RU g-1 DW (Jakovljević, Stanković, Warchał, & Skrzypek, 2022). Estos resultados antes mencionados son más cercanos a los encontrados en este estudio, ya que son más altos que los reportados por Qazizadah et al. (2023). No obstante, el TFC en este estudio aún muestra valores más altos para la mayoría de las variedades de *Ocimum basilicum* analizadas.

4.7 Discusión capacidad antioxidante

De acuerdo con los resultados obtenidos por Romano et al. (2022), la actividad antioxidante reportada osciló entre 1,14 y 1,86 mmol equivalentes de Trolox (TE) g-1 de extracto al utilizar la técnica DPPH. Estos resultados son inferiores a los encontrados en el presente estudio, a excepción de la variedad Thai, que presenta un valor inferior en comparación con las demás variedades. Sin embargo, las variedades analizadas por Romano et al. (2022) fueron Italiano, Classico y Genovese, lo que puede influir en la concentración de compuestos antioxidantes ya que la variación entre genotipos es bastante amplia.

Coelho et al. (2018) observaron una tendencia similar con resultados comparables. Encontraron que el extracto etanólico exhibió una mayor capacidad antioxidante tanto en la prueba DPPH ($IC_{50} = 3,99 \text{ mg mL}^{-1}$) como en el ensayo de poder reductor (285,1 TE g⁻¹ de extracto) en comparación con los extractos de fluidos supercríticos (5,63 mg mL⁻¹ y 111,7 TE g⁻¹, respectivamente). Floegel, Kim, Chung, Koo, and Chun (2011) confirmaron que, en una amplia gama de matrices alimentarias, los valores del ensayo ABTS suelen ser más altos que los del ensayo DPPH, lo que indica que el ensayo ABTS reacciona con más componentes y de formas diferentes que el ensayo DPPH.

4.8 Discusión compuestos específicos (ácido gálico, morina y ácido ferúlico)

Los estudios han demostrado que los extractos de varias variedades de albahaca contienen diferentes compuestos fenólicos totales (CPT), en particular ácidos fenólicos como el rosmarínico, el cafeico, el caftárico y el cíchórico, que mejoran en gran medida sus propiedades antioxidantes. Junto con los ácidos fenólicos, también están presentes los flavonoides (Ghasemzadeh et al., 2016) (Jakovljević et al., 2022) Comprender las diferencias metabólicas entre órganos, tejidos y células es crucial para comprender el metabolismo de las plantas (de Miguel et al., 2016). Sin embargo, existe información limitada sobre la correlación entre el contenido de metabolitos secundarios y la actividad de la enzima fenilalanina amoniaco-liasa (PAL) en diferentes genotipos de albahaca. Un estudio reciente que investigó la síntesis inducida de metabolitos secundarios en varios cultivares de albahaca en condiciones de cultivo de tejidos Jakovljević, Topuzović, and Stanković (2019) demostró que se puede lograr una mayor actividad de PAL, junto con un TPC más alto y una capacidad antioxidante mejorada, en tres cultivares de albahaca ('Genovese', 'small-leaved' y 'lemon basil') en condiciones de deficiencia de nutrientes (Jakovljević, Skrzypek, Stanković, & Warchoł, 2023).

Con base en los puntos antes mencionados, se puede deducir que los metabolitos secundarios específicos reportados en el estudio dependen de diversos factores, empezando por el genotipo de albahaca estudiado. Como resultado, las concentraciones reportadas varían según el genotipo y las condiciones durante el crecimiento de la planta.

4.9 Resultados y discusión actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana de extractos de cuatro variedades de albahaca (*Ocimum basilicum*): Thai, Persa, Genovesa y Red Rubin, fue evaluada frente a tres microorganismos: *Candida albicans*, *Escherichia coli* y *Salmonella enteritidis*, mediante el método colorimétrico MABA (Alamar Blue).

Para *Candida albicans*, se observó inhibición del crecimiento fúngico con los extractos Thai, Persa y Red Rubin, todos con una concentración mínima inhibitoria (CMI) de 50 μ l. El extracto Genovesa presentó resistencia, sin evidencia de inhibición visible a la concentración evaluada.

En el caso de *Escherichia coli*, los extractos Thai, Genovesa y Red Rubin mostraron una CMI de 12.5 μ l, mientras que el extracto Persa presentó una menor eficacia con una CMI de 25 μ l. Esto indica una mayor sensibilidad de *E. coli* frente a las variedades Thai, Genovesa y Red Rubin.

En contraste, frente a *Salmonella enteritidis*, sólo los extractos Thai y Persa fueron capaces de inhibir el crecimiento bacteriano, ambos con una CMI de 50 μ l. Los extractos Genovesa y Red Rubin no presentaron actividad inhibitoria, clasificándose como resistentes.

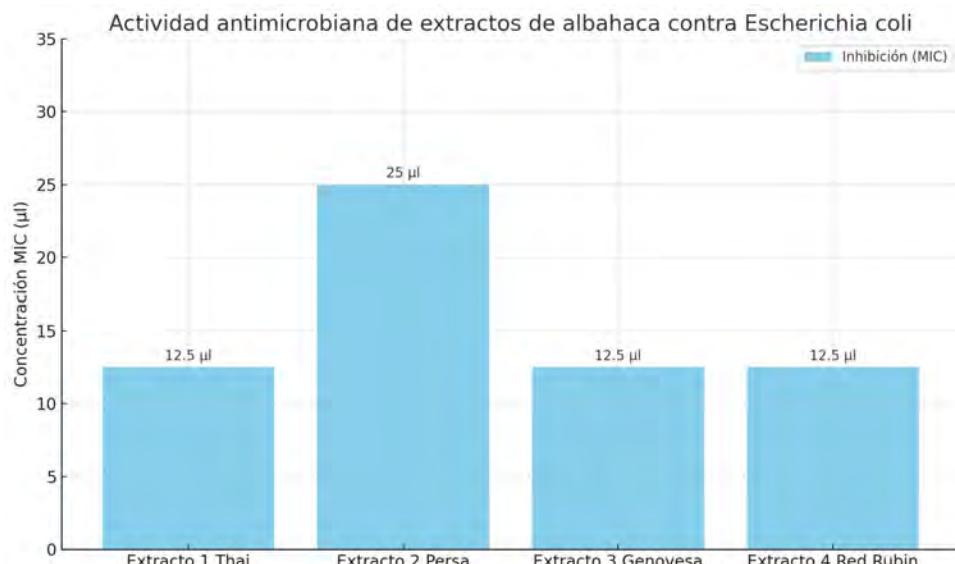


Figura 6. Actividad antimicrobiana de extractos de albahaca contra *Escherichia coli*

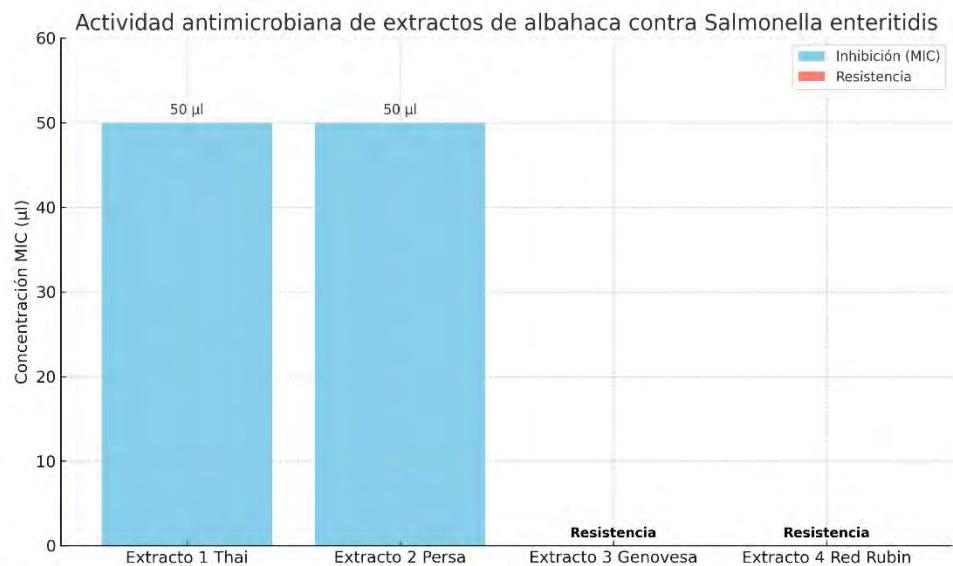


Figura 7. Actividad antimicrobiana de extractos de albahaca contra *Salmonella enteritidis*

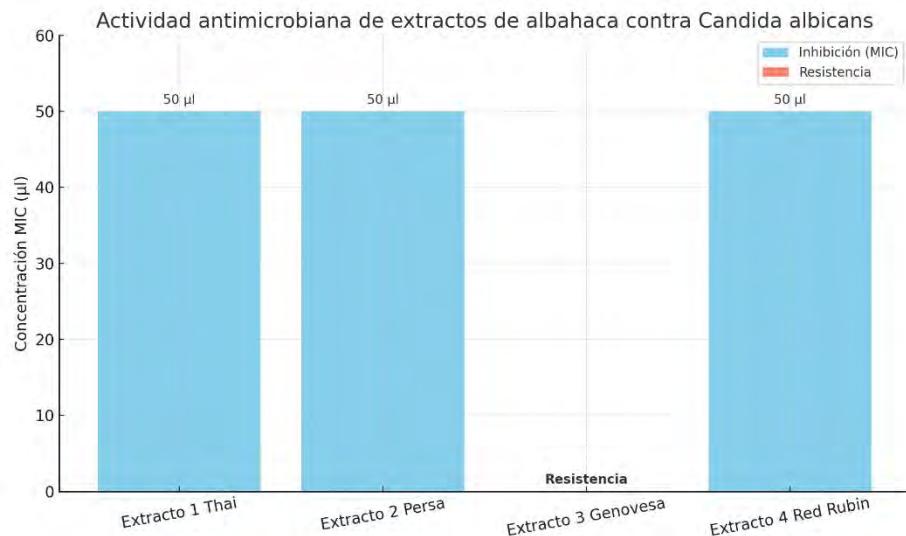


Figura 8. Actividad antimicrobiana de extractos de albahaca contra *Candida albicans*

Los resultados obtenidos evidencian que los extractos de albahaca poseen actividad antimicrobiana variable según la variedad vegetal y el microorganismo evaluado. Estas diferencias podrían atribuirse a la diversidad en la composición fitoquímica de cada variedad, en particular en el contenido de aceites esenciales como eugenol, linalol y metil-chavicol, compuestos conocidos por sus propiedades antimicrobianas (Kifer, Mužinić, & Klarić, 2016) (Ugbogu et al., 2021).

La eficacia observada contra *Candida albicans*, con tres de los cuatro extractos mostrando una CMI de 50 µl, respalda el potencial antifúngico de *O. basilicum*. Estudios previos han documentado la capacidad de los aceites esenciales de albahaca para desestabilizar la membrana celular de levaduras patógenas, lo que puede explicar la inhibición observada (Kocić-Tanackov, Dimić, Lević, Tanackov, & Tuco, 2011).

En cuanto a las bacterias gramnegativas evaluadas, *E. coli* se mostró más sensible, especialmente a los extractos Thai, Genovesa y Red Rubin. Esto contrasta con *Salmonella enteritidis*, donde solo se observó actividad antimicrobiana con los extractos Thai y Persa. Este hallazgo concuerda con investigaciones que destacan la mayor resistencia de *Salmonella* a compuestos naturales, posiblemente debido a mecanismos de bomba de eflujo y estructuras lipopolisacáridicas más robustas (Rattanachaikunsopon & Phumkhachorn, 2010).

Particularmente destacable es el comportamiento del extracto Genovesa, que mostró eficacia frente a *E. coli* pero resistencia frente a *C. albicans* y *S. enteritidis*. Esta variabilidad refuerza la necesidad de caracterizar el perfil fitoquímico de cada variedad y comprender sus mecanismos de acción específicos.

Estos hallazgos abren la posibilidad de considerar extractos de albahaca como candidatos para el desarrollo de productos antimicrobianos naturales, aunque se requieren estudios adicionales de fraccionamiento, aislamiento de principios activos y pruebas *in vivo*.

Además, el método MABA ha demostrado ser efectivo y sensible para evaluar la viabilidad microbiana, permitiendo detectar de manera precisa la actividad inhibitoria de los extractos mediante cambios de color (Collins & Franzblau, 1997).

IV. CONCLUSIONES

En este estudio se analizaron nueve variedades de albahaca (*Ocimum basilicum*) para evaluar su contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, así como su capacidad antioxidante. Los resultados mostraron una variación significativa en la concentración de estos compuestos entre las diferentes variedades, influenciada por el genotipo y las condiciones de crecimiento de las

plantas. La variedad Napolitano presentó el mayor contenido de TPC, mientras que la variedad Thai mostró la menor concentración. La capacidad antioxidante medida por los métodos DPPH y ABTS mostró que las variedades Emily, Lemon, Nufar y Napolitano presentaron los valores más altos, mientras que la variedad Thai presentó los valores más bajos. La variedad Thai presentó la mayor concentración de ácido gálico y ferúlico, mientras que las variedades White y Cinnamon no reportaron la presencia de estos compuestos. La variedad Lemon presentó la mayor concentración de morina.

En conclusión, se puede afirmar que la variabilidad en la composición de compuestos fenólicos y flavonoides, así como en la capacidad antioxidante entre las diferentes variedades de albahaca, subraya la importancia del genotipo y las condiciones de cultivo en la determinación del perfil fitoquímico de las plantas. Estos hallazgos pueden ser útiles para la selección de variedades de albahaca con altos contenidos de compuestos bioactivos para aplicaciones en las industrias alimentaria y farmacéutica.

Los extractos de albahaca, en especial las variedades Thai, Genovesa y Red Rubin, mostraron actividad antimicrobiana efectiva frente a *Escherichia coli*, con concentraciones mínimas inhibitorias de hasta 12.5 μ l.

La eficacia frente a *Salmonella enteritidis* fue limitada a las variedades Thai y Persa, con una CMI de 50 μ l, mientras que las demás presentaron resistencia. Frente a *Candida albicans*, los extractos Thai, Persa y Red Rubin mostraron inhibición a 50 μ l, mientras que la variedad Genovesa no presentó efecto inhibitorio, evidenciando resistencia.

Estos resultados destacan el potencial de los extractos de albahaca como fuentes naturales de compuestos antimicrobianos, especialmente frente a bacterias Gram negativas como *E. coli*, aunque su eficacia varía según la cepa microbiana y la variedad de albahaca utilizada.

V. REFERENCIAS

- Abbott, D. W., & Boraston, A. B. (2008). Structural biology of pectin degradation by *Enterobacteriaceae*. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 72(2), 301–316.
- Abkhoo, J., & Jahani, S. (2016). Antibacterial effects of aqueous and ethanolic extracts of medicinal plants against pathogenic strains. *International Journal of Infection*, 4(2), 1-4.
- Adigüzel, A., Güllüce, M., Şengül, M., Öğütçü, H., Şahin, F., & Karaman, I. (2005). Antimicrobial effects of *Ocimum basilicum* (Labiatae) extract. *Turkish Journal of Biology*, 29(3), 155-160

- Ahmad, K., Khalil, A. T., Yusra, & Somayya, R. (2016). Antifungal, phytotoxic and hemagglutination activity of methanolic extracts of *Ocimum basilicum*. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 36(6), 794-798.
- Akbari, G. A., Soltani, E., Binesh, S., & Amini, F. (2018). Cold tolerance, productivity and phytochemical diversity in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) accessions. *Industrial Crops & Products*, 124, 677–684.
- Ameer, K., Shahbaz, H. M., & Kwon, J. H. (2017). Green extraction methods for polyphenols from plant matrices and their byproducts: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2), 1-21.
- Anyanwu, M. U., Jaja, I. F., & Nwobi, O. C. (2020). Occurrence and characteristics of mobile colistin resistance (mcr) gene-containing isolates from the environment: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1-38.
- Azizah, N. S., Irawan, B., Kusmoro, J., Safriansyah, W., Farabi, K., Oktavia, D., . . . Miranti, M. (2023). Sweet basil (*Ocimum basilicum* L.)—A review of its botany, phytochemistry, pharmacological activities, and biotechnological development. *Plants*, 12(4148), 1-25.
- Barickman, T. C., Olorunwa, O. J., Sehgal, A., Walne, C. H., Reddy, K. R., & Gao, W. (2021). Interactive impacts of temperature and elevated CO₂ on basil (*Ocimum basilicum* L.) root and shoot morphology and growth. *Horticulturae*, 7(5), 1-16.
- Benedict, K. M., Gow, S. P., McAllister, T. A., Booker, C. W., Hannon, S. J., Checkley, S. L., . . . Morley, P. S. (2015). Antimicrobial resistance in *Escherichia coli* recovered from feedlot cattle and associations with antimicrobial use. *PLOS ONE*, 10(12), 1-21.
- Bravo, E., Amrani, S., Aziz, M., Harnafi, H., & Napolitano, M. (2008). *Ocimum basilicum* ethanolic extract decreases cholesterol synthesis and lipid accumulation in human macrophages. *Fitoterapia*, 79(7), 515-523.
- Cabello, F. C., Godfrey, H. P., Buschmann, A. H., & Dölz, H. J. (2016). Aquaculture as yet another environmental gateway to the development and globalisation of antimicrobial resistance. *Lancet Infectious Diseases*, 16(7), 127-133.
- Catry, B., Laevens, H., Devriese, L. A., Opsomer, G., & de Kruif, A. (2003). Antimicrobial resistance in livestock. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 26(2), 81-93.
- Celis-Bustos, Y. A., Rubio, V. V., & Camacho-Navarro, M. M. (2017). Evolutionary origin of antibiotic resistance, a historical perspective. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(2), 105-117.
- Chaves, N., Santiago, A., & Alías, J. C. (2020). Quantification of the antioxidant activity of plant extracts: analysis of sensitivity and hierarchization based on the method used. *Antioxidants*, 9(76), 1-14.
- Chomel, M., Guittonny-Larchevêque, M., Fernandez, C., Gallet, C., DesRochers, A., Paré, D., . . . Baldy, V. (2016). Plant secondary metabolites: a key driver of litter decomposition and soil nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 104(6), 1527–1541.
- Clemensen, A. K., Provenza, F. D., Hendrickson, J. R., & Grusak, M. A. (2020). Ecological implications of plant secondary metabolites - phytochemical

- diversity can enhance agricultural sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 1-9.
- Coelho, J., Veiga, J., Karmali, A., Nicolai, M., Reis, C. P., Nobre, B., & Palavra, A. (2018). Supercritical CO₂ extracts and volatile oil of basil (*Ocimum basilicum* L.) comparison with conventional methods. *Separations*, 5(21), 1-12.
- Collins, L., & Franzblau, S. G. (1997). Microplate alamar blue assay versus BACTEC 460 system for high-throughput screening of compounds against *Mycobacterium tuberculosis* and *Mycobacterium avium*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 41(5), 1004-1009.
- Crozier, A., Jaganath, I. B., & Clifford, M. N. (2006). Phenols, polyphenols and tannins: an overview. *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet*, 1, 1-24.
- Crump, J. A., Sjölund-Karlsson, M., Gordon, M. A., & Parry, C. M. (2015). Epidemiology, clinical presentation, laboratory diagnosis, antimicrobial resistance, and antimicrobial management of invasive *Salmonella* infections. *Clinical Microbiology Reviews*, 28(4), 901-937.
- Da-Silva, F., Santos, R. H. S., Diniz, E. R., Barbosa, L. C. A., Casali, V. W. D., & De Lima, R. R. (2003). Content and composition of basil (*Ocimum basilicum*) essential oil at two different hours in the day and two seasons. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 6(1), 33-38.
- de Melo, A. N. F., Monte, D. F. M., de Souza Pedrosa, G. T., Balkey, M., Jin, Q., Brown, E., . . . Macarisin, D. (2021). Genomic investigation of antimicrobial resistance determinants and virulence factors in *Salmonella enterica* serovars isolated from contaminated food and human stool samples in Brazil *International Journal of Food Microbiology*, 343, 1-15.
- de Miguel, M., Guevara, M. A., Sánchez-Gómez, D., de María, N., Díaz, L. M., Mancha, J. A., . . . Cervera, M. T. (2016). Organ-specific metabolic responses to drought in *Pinus pinaster* Ait. *Plant Physiology and Biochemistry*, 102, 17-26.
- Do, T. H., Truong, H. B., & Nguyen, H. C. (2020). Optimization of extraction of phenolic compounds from *Ocimum basilicum* leaves and evaluation of their antioxidant activity. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 54(2), 162-169.
- Ehuwa, O., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2021). *Salmonella*, food safety and food handling practices. *Foods*, 10(5), 1-16.
- El-Ghany, W. A. A. (2024). The influence of the phytobiotic tulsi (*Ocimum sanctum*) on broiler production and health. *Veterinarska Stanica*, 55(2), 221-230.
- El-Hack, M. E. A., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Salem, H. M., Ashry, N. M., Ghanima, M. M. A., . . . El-Tarably, K. A. (2022). Essential oils and their nanoemulsions as green alternatives to antibiotics in poultry nutrition: a comprehensive review. *Poultry Science Association*, 101(2), 1-21.
- Elansary, H. O., Szopa, A., Kubica, P., Ekiert, H., El-Ansary, D. O., Al-Mana, F. A., & Mahmoud, E. A. (2020). Saudi *Rosmarinus officinalis* and *Ocimum basilicum* L. polyphenols and biological activities. *Processes*, 8(446), 1-16.

- Elsner, K., Holstein, J., Hilke, F. J., Blumenstock, G., Walker, B., Schmidt, S., . . . Meier, K. (2022). Prevalence of *Candida* species in Psoriasis. *Mycoses*, 65(2), 247–254.
- Esmaeili, A., Saleh, I., & Abu-Dieyeh, M. H. (2025). Antifungal potential of plant-based extracts against *Candida* species: values, safety concerns, and possible applications. *Phytochemistry Reviews*, 1, 1-44.
- Fang, W., Wu, J., Cheng, M., Zhu, X., Du, M., Chen, C., . . . Pan, W. (2023). Diagnosis of invasive fungal infections: challenges and recent developments. *Journal of Biomedical Science*, 30(42), 1-35.
- Flanigan, P. M., & Niemeyer, E. D. (2014). Effect of cultivar on phenolic levels, anthocyanin composition, and antioxidant properties in purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Food Chemistry*, 164, 518–526.
- 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, 1043–1048.
- Fokou, J. B. H., Pierre, N. J., Gisele, E. L., Christian, N. C., Michel, J. D. P., Laza, I. M., . . . Emmanuel, B. (2020). *In Vitro* antioxidant and anti-inflammatory potential of the optimized combinations of essential oils from three cameroon grew *Ocimum* L. . *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 8, 207-219
- Founou, R. C., Blocker, A. J., Noubom, M., Tsayem, C., Choukem, S. P., Dongen, M. V., & Founou, L. L. (2021). The COVID-19 pandemic: a threat to antimicrobial resistance containment. *Future Science OA*, 7(8), 1-12.
- García-Béjar, B., García de Blas Martín, I., Arévalo-Villena, M., & Briones-Pérez, A. (2021). High prevalence of antibiotic-resistant *Escherichia coli* isolates from retail poultry products in Spain. *Animals*, 11(11), 1-15.
- Ghasemzadeh, A., Ashkani, S., Baghdadi, A., Pazoki, A., Jaafar, H. Z. E., & Rahmat, A. (2016). Improvement in flavonoids and phenolic acids production and pharmaceutical quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by ultraviolet-b irradiation. *Molecules*, 21(1203), 1-15.
- Godínez-Oviedo, A., Tamplin, M. L., Bowman, J. P., & Hernández-Iturriaga, M. (2020). *Salmonella enterica* in Mexico 2000–2017: epidemiology, antimicrobial resistance, and prevalence in food. *Foodborne Pathogens and Disease*, 17(2), 1-21.
- Goel, G., & Makkar, H. P. S. (2012). Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production*, 44(4), 729-739.
- Gucwa, K., Milewski, S., Dymerski, T., & Szweda, P. (2018). Investigation of the antifungal activity and mode of action of *Thymus vulgaris*, *Citrus limonum*, *Pelargonium graveolens*, *Cinnamomum cassia*, *Ocimum basilicum*, and *Eugenia caryophyllus* essential oils. *Molecules*, 23(5), 1-18.
- Gulcin, I., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. *Processes*, 11(2248), 1-20.
- Hamelsveld, S. V., Adewale, M. E., Kurenbach, B., Godsoe, W., Harding, J. S., Remus-Emsermann, M. N. P., & Heinemann, J. A. (2019). Prevalence of

- antibiotic-resistant *Escherichia coli* isolated from urban and agricultural streams in Canterbury, New Zealand. *FEMS Microbiology Letters*, 366(8), 1-9.
- Jacob, J. K. S., Carlos, R. C. A., & Divina, C. C. (2016). Phytochemical composition, antibacterial and antifungal activities of sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Advances in Environmental Biology*, 10(7), 84–90.
- Jadimurthy, R., Jagadish, S., Nayak, S. C., Kumar, S., Mohan, C. D., & Rangappa, K. S. (2023). Phytochemicals as invaluable sources of potent antimicrobial agents to combat antibiotic resistance. *Life*, 13(948), 1-34.
- Jakovljević, D., Skrzypek, E., Stanković, M., & Warchoł, M. (2023). Phytochemical diversity and biological activity of basil (*Ocimum L.*) secondary metabolites produced in vitro. *Biosynthesis of Bioactive Compounds in Medicinal and Aromatic Plants*, 1, 369–398.
- Jakovljević, D., Stanković, M., Warchoł, M., & Skrzypek, E. (2022). Basil (*Ocimum L.*) cell and organ culture for the secondary metabolites production: a review. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 149, 61–79.
- Jakovljević, D., Topuzović, M., & Stanković, M. (2019). Nutrient limitation as a tool for the induction of secondary metabolites with antioxidant activity in basil cultivars. *Industrial Crops & Products*, 138, 1-10.
- Jayanegara, A., Togtokhbayar, N., Makkar, H., & Becker, K. (2009). Tannins determined by various methods as predictors of methane production reduction potential of plants by an in vitro fermentation system. *Animal Feed Science and Technology*, 150(3), 230-237.
- Kaper, J. B., Nataro, J. P., & Mobley, H. L. T. (2004). Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*, 2, 123–140.
- Keerthirathne, T. P., Ross, K., Fallowfield, H., & Whiley, H. (2016). A review of temperature, pH, and other factors that influence the survival of *Salmonella* in mayonnaise and other raw egg products. *Pathogens*, 5(63), 1-11.
- Khaki, A., Khaki, A. A., Ezzatzadeh, A., & A-Ashteani, H. (2013). Effect of *Ocimum basilicum* on ovary tissue histopathology after exposure to electromagnetic fields (EMF) in rats. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 7(25), 1703-1706.
- Kifer, D., Mužinić, V., & Klarić, M. S. (2016). Antifungal effects of essential oils: The possibilities of application in food and pharmaceutical industries. *Molecules*, 21(3), 403-409.
- Kocić-Tanackov, S., Dimić, G., Lević, J., Tanackov, I., & Tuco, D. (2011). Antifungal activities of basil (*Ocimum basilicum L.*) extract on *Fusarium* species. *African Journal of Biotechnology*, 10(50), 10188-10195.
- Kumar, A., Shukla, A. K., Shasany, A. K., & Sundaresan, V. (2018). Systematic position, phylogeny, and taxonomic revision of Indian *Ocimum*. *The Ocimum Genome; Shasany, A.K., Kole, C., Eds.; Springer: Cham, Switzerland*, 61-72.
- Kumar, H., Chen, B. H., Kuca, K., Nepovimova, E., Kaushal, A., Nagraik, R., . . . Kumar, D. (2020). Understanding of colistin usage in food animals and available detection techniques: a review. *Animals*, 10, 1-19.

- Kwee, E. M., & Niemeyer, E. D. (2011). Variations in phenolic composition and antioxidant properties among 15 basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 128, 1044–1050.
- Lal, R. K., Gupta, P., Chanotiya, C. S., & Sarkar, S. (2018). Traditional plant breeding in *Ocimum*. *The Ocimum Genome*; Shasany, A.K., Kole, C., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 89-98.
- Lass-Flörl, C., Kanj, S. S., Govender, N. P., Thompson, G. R., Zeichner, L. O., & Govrins, M. A. (2024). Invasive candidiasis. *Nature Reviews Disease Primers*, 10(20), 1-20.
- Lee, C. R., Cho, I. H., Jeong, B. C., & Lee, S. H. (2013). Strategies to minimize antibiotic resistance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10, 4274-4305.
- Lee, Y., Puumala, E., Robbins, N., & Cowen, L. E. (2021). Antifungal drug resistance: molecular mechanisms in *Candida albicans* and beyond. *Chemical Reviews*, 121(6), 3390–3411.
- Leimbach, A., Hacker, J., & Dobrindt, U. (2013). *E. coli* as an all-rounder: the thin line between commensalism and pathogenicity. *Between Pathogenicity and Commensalism*, 358, 3-32.
- Lenzi, A., Marvasi, M., & Baldi, A. (2021). Agronomic practices to limit pre- and post-harvest contamination and proliferation of human pathogenic Enterobacteriaceae in vegetable produce *Food Control*, 119, 1-11.
- Li, Q. X., & Chang, C. L. (2015). Basil (*Ocimum basilicum* L.) oils. Victor R. Preedy., editor, *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, Salt Lake City, Utah, Academic Press, 231-238.
- Lillo, A., Carvajal-Caiconte, F., Nuñez, D., Balboa, N., & Alvear-Zamora, M. (2016). Cuantificación espectrofotométrica de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en distintos berries nativos del Cono Sur de América. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(2), 168-174.
- Liu, Y. Y., Wang, Y., Walsh, T. R., Yi, L. X., Zhang, R., Spencer, J., . . . Shen, J. (2016). Emergence of plasmid-mediated colistin resistance mechanism MCR-1 in animals and human beings in China: a microbiological and molecular biological study. *Lancet Infectious Diseases*, 16(2), 161-168.
- Loh, J. T., & Lam, K. P. (2023). Fungal infections: Immune defense, immunotherapies and vaccines. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 196, 1-16.
- Luna-Guevara, J. J., Arenas-Hernandez, M. M. P., Martínez de la Peña, C., Silva, J. L., & Luna-Guevara, M. L. (2019). The role of pathogenic *E. coli* in fresh vegetables: behavior, contamination factors, and preventive measures. *International Journal of Microbiology*, 1, 1-10.
- Luna-Herrera, J., Costa, M. C., González, H. G., Rodrigues, A. I., & Castilho, P. C. (2007). Synergistic antimycobacterial activities of sesquiterpene lactones from *Laurus* spp. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 59(3), 548–552.
- Majid, I., Khan, S., Aladel, A., Dar, A. H., Adnan, M., Khan, M. I., . . . Ashraf, S. A. (2023). Recent insights into green extraction techniques as efficient methods for the extraction of bioactive components and essential oils from foods. *Journal of food*, 21(1), 101-114.

- Martin, A., Portaels, F., & Palomino, J. C. (2007). Colorimetric redox-indicator methods for the rapid detection of multidrug resistance in *Mycobacterium tuberculosis*: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 59(2), 175–183.
- Mirona, D., Battistia, F., Silvab, F. K., Lanab, A. D., Pippib, B., Casanovac, B., . . . Schapovala, E. E. S. (2014). Antifungal activity and mechanism of action of monoterpenes against dermatophytes and yeasts. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 24(6), 660-667.
- Mkangara, M. (2023). Prevention and control of human *Salmonella enterica* infections: an implication in food safety. *International Journal of Food Science*, 1, 1-26.
- Munck, N., Smith, J., Bates, J., Glass, K., Hald, T., & Kirk, M. D. (2020). Source attribution of *Salmonella* in macadamia nuts to animal and environmental reservoirs in Queensland, Australia. *Foodborne Pathogens and Disease*, 17(5), 357-364.
- Nazarian, M., Amouzgar, D., & Sedghianzadeh, H. (2016). Effects of different concentrations of cadmium on growth and morphological changes in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 48(3), 945-952.
- Ndomou, S. C. H., & Mube, H. K. (2024). The use of plants as phytobiotics: a new challenge. *Phytochemicals in Agriculture and Food*, 1, 1-20.
- Nguyen, P. M., & Niemeyer, E. D. (2008). Effects of nitrogen fertilization on the phenolic composition and antioxidant properties of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(18), 8685–8691.
- O'Neill, J. (2016). Review on antimicrobial resistance. Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations. *Wellcome Trust and HM Government*, 1-40.
- O'Leary, N. (2017). Taxonomic revision of *Ocimum* (Lamiaceae) in Argentina. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 144(1), 74–87.
- Obukhovska, O. (2013). The natural reservoirs of *Salmonella Enteritidis* in populations of wild birds. *Journal of Public Health Informatics*, 5(1), 1.
- Petrin, S., Mancin, M., Losasso, C., Deotto, S., Olsen, J. E., & Barco, L. (2022). Effect of pH and salinity on the ability of *Salmonella* serotypes to form biofilm. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1-9.
- Prestinaci, F., Pezzotti, P., & Pantosti, A. (2015). Antimicrobial resistance: a global multifaceted phenomenon. *Pathogens and Global Health*, 109(7), 309-318.
- Prinsi, B., Morgutti, S., Negrini, N., Faoro, F., & Espen, L. (2020). Insight into composition of bioactive phenolic compounds in leaves and flowers of green and purple basil. *Plants*, 9(22), 1-16.
- Provenza, F. D., Kronberg, S. L., & Gregorini, P. (2019). Is grassfed meat and dairy better for human and environmental health? *Frontiers in Nutrition*, 6(26), 1-13.
- Provenza, F. D., & Villalba, J. J. (2010). The role of natural plant products in modulating the immune system: an adaptable approach for combating disease in grazing animals. *Small Ruminant Research*, 89(2), 131-139.

- Provenza, F. D., Villalba, J. J., Haskell, J., MacAdam, J. W., Griggs, T. C., & Wiedmeier, R. D. (2007). The value to herbivores of plant physical and chemical diversity in time and space. *Crop Science Society of America*, 47(1), 382-398.
- Qamar, F., Sana, A., Naveed, S., & Faizi, S. (2023). Phytochemical characterization, antioxidant activity and antihypertensive evaluation of *Ocimum basilicum* L. in I-NAME induced hypertensive rats and its correlation analysis. *Helyon*, 9(4), 1-20.
- Qazizadah, A. Z., Nakasha, J. J., Sinniah, U. R., & Wahab, P. E. M. (2023). Quantification of total phenolic and total flavonoid compounds in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves, through the optimization of temperature and concentration of ethanol. *ISSAAS Journal*, 29(2), 36-51.
- Rabelo-Ruiz, M., Ariza-Romero, J. J., Zurita-González, M. J., Martín-Platero, A. M., Baños, A., Maqueda, M., . . . Peralta-Sánchez, J. M. (2021). *Allium*-based phytobiotic enhances egg production in laying hens through microbial composition changes in ileum and cecum. *Animals*, 11(448), 1-15.
- Ramírez-Aragón, M. G., Borroel-García, V. J., Salas-Pérez, L., López-Martínez, J. D., Gallegos-Robles, M. A., & Trejo-Escareño, H. I. (2019). Rosmarinic acid, total phenolics and antioxidant capacity in three varieties of *Ocimum basilicum* L. with different potassium doses. *Polibotánica*, 47, 89-98.
- Rattanachaikunsopon, P., & Phumkhachorn, P. (2010). Antimicrobial activity of basil (*Ocimum basilicum*) oil against *Salmonella enteritidis* in vitro and in food. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 74(6), 1200–1204.
- Romano, R., Luca, L. D., Aiello, A., Pagano, R., Pierro, P. D., Pizzolongo, F., & Masi, P. (2022). Basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves as a source of bioactive compounds. *Foods*, 11(20), 1-13.
- Sautour, M., Lemaître, J. P., Ranjard, L., Truntzer, C., Basmaciyan, L., Depret, G., . . . Dalle, F. (2021). Detection and survival of *Candida albicans* in soils. *Environmental DNA*, 3, 1093–1101.
- Schmiedel, Y., & Zimmerl, S. (2016). Common invasive fungal diseases: an overview of invasive candidiasis, aspergillosis, cryptococcosis, and *Pneumocystis* pneumonia. *Swiss Medical Weekly*, 146(0708), 1-12.
- Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M., & Corke, H. (2005). Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7749–7759.
- Stanojevic, L. P., Marjanovic-Balaban, Z. R., Kalaba, V. D., Stanojevic, J. S., Cvetkovic, D. J., & Cakic, M. D. (2017). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20, 1557 - 1569.
- Tang, K. W. K., Millar, B. C., & Moore, J. E. (2023). Antimicrobial resistance (AMR). *British Journal of Biomedical Science*, 80, 1-11.
- Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014). Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of Food Science*, 79(7), 1231-1249.
- Ugbogu, O. C., Emmanuel, O., Agi, G. O., Ibe, C., Ekweogu, C. N., Ude, V. C., . . . Ugbogu, E. A. (2021). A review on the traditional uses,

- phytochemistry, and pharmacological activities of clove basil (*Ocimum gratissimum* L.). *Helijon*, 7, 1-17.
- Vlase, L., Benedec, D., Hanganu, D., Damian, G., Csillag, I., Sevastre, B., . . . Tilea, I. (2014). Evaluation of antioxidant and antimicrobial activities and phenolic profile for *Hyssopus officinalis*, *Ocimum basilicum* and *Teucrium chamaedrys*. *Molecules*, 19(5), 5490–5507.
- Waldman, J., Souza, M. N., Fonseca, A. S. K., Ikuta, N., & Lunge, V. R. (2020). Direct detection of *Salmonella* from poultry samples by DNA isothermal amplification. *British Poultry Science*, 61(6), 653-659.
- Yang, Y. L., Xiang, Z. J., Yang, J. H., Wang, W. J., Xu, Z. C., & Xiang, R. L. (2021). Adverse effects associated with currently commonly used antifungal agents: a network meta-analysis and systematic review. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 1-12.
- Zhakipbekov, K., Turgumbayeva, A., Akhelova, S., Bekmuratova, K., Blinova, O., Utegenova, G., . . . Karasova, Z. (2024). Antimicrobial and other pharmacological properties of *Ocimum basilicum*, *Lamiaceae*. *Molecules*, 29(388), 1-19.
- Zhakipbekov, K., Turgumbayeva, A., Issayeva, R., Kipchakbayeva, A., Kadyrbayeva, G., Tleubayeva, M., . . . Tileuberdi, Y. (2023). Antimicrobial and other biomedical properties of extracts from *Plantago major*, *Plantaginaceae*. *Pharmaceuticals*, 16(8).
- Zielińska-Błajet, M., & Feder-Kubis, J. (2020). Monoterpenes and their derivatives-recent development in biological and medical applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19), 70-78.