

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIMICROBIANA DE EXTRACTOS DE *MORINGA OLEIFERA* Y *ARTEMISIA LUDOVICIANA* CONTRA *ESCHERICHIA COLI*

Brian Vázquez Almanza¹, Danna Maribel Rodríguez Rentería², Erika Baray³,
Olalla Sánchez Ortíz⁴, Juan Carlos Bustillos Rodríguez⁵

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICO

Recibido: 19/01/2023 Aceptado: 01/12/2023

Resumen.- La alimentación es fundamental para la vida y el desarrollo de la población a nivel mundial, por lo que la seguridad alimentaria es un derecho humano básico. La cantidad de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos asociados con productos frescos ha ido en aumento, por lo que es necesario buscar estrategias que aseguren que los alimentos que consumimos se encuentran libre de patógenos. Dado lo anterior, el objetivo del presente estudio fue la obtención de extractos de plantas de *Moringa oleifera* y *Artemisia ludoviciana* y evaluar la capacidad antimicrobiana in vitro de dichos extractos contra *E. coli*. Para lo cual, se obtuvo un aislado de *E. coli* a partir de carne molida de res, así como extractos vegetales de *M. oleifera* y *A. ludoviciana* utilizando alcohol etílico 96°, a dichos extractos se les evaluó la capacidad antimicrobiana hacia *E. coli*, a través de la medición de los halos de inhibición. A partir de las 24 h post inoculación fue posible observar la presencia de inhibición del crecimiento de la bacteria, especialmente con el extracto de la semilla de *M. oleifera* al presentar un diámetro de inhibición mayor a comparación de los demás extractos, teniendo un promedio de 13.5 mm, seguido de la hoja de *A. ludoviciana* 8.8 mm y la hoja de *M. oleifera* con un promedio de 7.8 mm. Por lo que, dichos resultados contribuyen a respaldar la capacidad antimicrobiana de estas plantas, además de sugerir la elaboración de posibles productos antimicrobianos que permitan ampliar su aplicación y comercialización en el manejo y prevención de enfermedades causadas por patógenos.

Palabras Clave: Alimentos; ETAS; inocuidad; natural; preservación.

EVALUATION OF ANTIMICROBIAL CAPACITY OF *MORINGA OLEIFERA* AND *ARTEMISIA LUDOVICIANA* EXTRACTS AGAINST *ESCHERICHIA COLI*

Abstract.- Food is essential for the life and development of the population worldwide, so food security is a basic human right. The number of foodborne disease outbreaks associated with fresh produce has been increasing, making it necessary to seek strategies to ensure that the food we consume is free of pathogens. Given the above, the objective of this study was to obtain extracts from *Moringa oleifera* and *Artemisia ludoviciana* plants and to evaluate the *in vitro* antimicrobial capacity of said extracts against *E. coli*. For which, an *E. coli* isolate was obtained from ground beef, as well as plant extracts of *M. oleifera* and *A. ludoviciana* using 96° ethyl alcohol, these extracts were evaluated for their antimicrobial capacity against *E. coli*, through the measurement of inhibition halos. From 24 h post inoculation it was possible to observe the presence of inhibition of the growth of the bacteria, especially with the extract of the seed of *M. oleifera* as it presented a greater inhibition diameter compared to the other extracts, having an average of 13.5 mm, followed by the leaf of *A. ludoviciana* 8.8 mm and the leaf of *M. oleifera* with an average of 7.8 mm. Therefore, these results contribute to support the antimicrobial capacity of these plants, in addition to suggesting the development of possible antimicrobial products that allow expanding their application and commercialization in the management and prevention of diseases caused by pathogens.

Keywords: Foods, food diseases, innocuousness, natural, preservation.

¹ Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0009-7236-6187> 19610455@itcdcuauhtemoc.edu.mx

² Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0004-3180-0585> 19610459@itcdcuauhtemoc.edu.mx

³ Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0009-2912-6989> erikabaray@hotmail.com

⁴ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0000-0001-9911-4662> osanchez@itcdcuauhtemoc.edu.mx

⁵ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0000-0002-5485-8323> jbustillos@itcdcuauhtemoc.edu.mx (**Autor corresponsal**).

Introducción

Alimentar al mundo de manera sostenible es uno de los grandes desafíos de nuestra sociedad, el incremento exponencial de la población aumenta la demanda de todo tipo de servicios y productos, especialmente de alimentos, esta necesidad debe ser atendida con una combinación de avances científicos y tecnológicos, políticas gubernamentales, intervención institucional e inversión empresarial, innovación y entrega que involucre tanto al consumidor como al mercado (Cole et al., 2018). El desarrollo económico históricamente ha impulsado reducciones tanto en enfermedades infecciosas como en la pobreza en muchos entornos, por ejemplo, en 43 países en vías de desarrollo, el mejoramiento de la infraestructura rural que proporcionó acceso a servicios básicos como saneamiento y agua potable redujo la prevalencia de la desnutrición y las tasas de mortalidad en la población infantil (Rohr et al., 2019).

La alimentación es esencial para la vida y el desarrollo de la población a nivel mundial, por lo que la seguridad alimentaria es un derecho humano básico, sin embargo, miles de millones de personas en el mundo están en riesgo debido al consumo de determinados productos alimenticios que provocan ciertos padecimientos infecciosos día a día (Fung et al., 2018). La contaminación bacteriana en nuestro medio ambiente es preocupante, principalmente la contaminación en aguas potables, vegetales, alimentos, suelos que se encuentran cerca de nuestra actividad diaria (Nurafifah et al., 2021). Las Enfermedades Transmitidas por los Alimentos (ETAS) están surgiendo a nivel mundial a un ritmo sin precedentes, dichos padecimientos son provocados por ingerir productos alimenticios que se encuentran contaminados por microorganismos o sustancias químicas, los cuales representan un riesgo a la salud y la vida de las personas (Fernández et al., 2021).

El consumo de alimentos o productos “frescos” como frutas y verduras confiere un alto valor nutritivo a la dieta humana. Sin embargo, la cantidad de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos asociados con productos frescos ha ido en aumento, ya que cuando se consumen crudos, pueden ser una fuente de exposición a una gran diversidad de microorganismos presentes. Los productos frescos pueden contaminarse con patógenos bacterianos en múltiples puntos a lo largo de su cadena de producción y suministro por contacto directo con los desechos fecales durante la agricultura, como el riego con aguas residuales y el uso de biosólidos o estiércol animal como fertilizante, la contaminación también puede ocurrir durante el transporte y la manipulación. de los productos, mientras que estas posibles vías de contaminación se han estudiado bien para los patógenos tradicionales, sus contribuciones relativas a la contaminación de los productos frescos (Rahman et al., 2022).

Hoy en día, las enfermedades infecciosas siguen siendo la principal causa de muerte prematura en el mundo y se ha informado que son responsables de la muerte de unas 50,000 personas a diario (Oyebamiji et al., 2021). En lo que se refiere a microorganismos, *Staphylococcus aureus*, especies de *Salmonella*, especies de *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* son los principales patógenos bacterianos causantes de enfermedades transmitidas por alimentos, así como de muertes en el mundo asociadas con el consumo de alimentos contaminados, por lo que este grupo de bacterias resulta de gran interés desde el punto de vista médico y alimenticio (Abebe et al., 2020).

Siendo la bacteria *E. coli* el patógeno más común asociado con este tipo de alimentos (Luna-Guevara et al., 2019). Los síntomas asociados a una infección causada por *E. coli* pueden incluir diarrea, dolor abdominal, fiebre, y en ocasiones signos clínicos de obstrucción intestinal (Mirsepasi-Lauridsen et al., 2019). *E. coli* es uno de los patógenos fecales-orales que se transmite a través de alimentos y agua contaminada al nuevo huésped y están asociadas con el retraso del crecimiento infantil, muchas cepas de *E. coli* son patogénicas y pueden causar infecciones graves intestinales y extraintestinales, presentándose de manera común al ingerir alimentos preparados con deficientes medidas de higiene, principalmente en la vía pública y durante los viajes (Nurafifa et al., 2021).

Esta bacteria (*E. coli*) es muy abundante en el tracto gastrointestinal humano y diversos estudios han demostrado que es portadora de genes resistencia a antibióticos (como ampicilina, cotrimoxazol, azitromicina y gentamicina), de hecho, en los últimos 50 años han aparecido un gran número de cepas resistentes a los medicamentos, atribuido principalmente al uso inapropiado y excesivo de agentes antimicrobianos lo que complica significativamente las medidas preventivas y su tratamiento, viéndose reflejado en una menor eficacia terapéutica y por ende un aumento significativo de padecimientos relacionados con la ingesta de alimentos contaminados con este microorganismo, a pesar de esto, la terapia basada en antibióticos sigue siendo la principal estrategia contra las infecciones bacterianas, lo que mantiene latente la necesidad de descubrir nuevos agentes antibacterianos con nuevos mecanismos para combatir las cepas bacterianas resistentes (Barani et al., 2021; Eltai et al., 2018; Zazharsky et al., 2019). La resistencia a los productos

antimicrobianos es definida por la Organización Mundial de la Salud como “la capacidad de un microorganismo para impedir que un antimicrobiano actúe contra él” (OMS, 2014).

E. coli se transmite principalmente a los humanos a través del consumo de alimentos contaminados, como productos cárnicos picados crudos o poco cocidos, leche y productos lácteos crudos o sin pasteurizar, jugos de frutas sin pasteurizar y verduras y frutas crudas contaminadas (Barlaam et al., 2019). Además, los microorganismos oportunistas que anteriormente se consideraban no patógenos están presentes en los productos frescos y pueden causar infecciones graves en un huésped inmunocomprometido, por ejemplo, bacterias oportunistas, como *Klebsiella* spp. y *Enterobacter* spp., se han encontrado en vegetales como repollo, pimienta y tomates (Rahman et al., 2022). La importancia de *E. coli* en la industria alimentaria se demuestra con su inclusión en las normas de seguridad alimentaria a nivel mundial, en particular existe un límite microbiológico para *E. coli* que se utiliza en la industria alimentaria como indicador de la seguridad e higiene con la que se prepararon los alimentos (Barlaam et al., 2019).

Dado lo anterior, es necesario buscar estrategias que aseguren que los alimentos que consumimos se encuentran libre de patógenos, para lo cual, se deben erradicar las malas prácticas predominantes de manipulación y saneamiento de los alimentos, las leyes de seguridad alimentaria inadecuadas, los sistemas reguladores débiles, la falta de recursos financieros para invertir en equipos más seguros y la falta de educación para los manipuladores de alimentos (Tessema et al., 2014). Además de esto, es necesario apoyarse de soluciones amigables que permitan combatir a los patógenos, mediante la búsqueda de alternativas a los productos convencionales.

Para prevenir y curar diferentes enfermedades humanas, recientemente se ha prestado una atención considerable a las plantas debido a que resultan económicas, de fácil disponibilidad, ecológicas y bioamigables, las plantas medicinales son la principal fuente de productos farmacéuticos y para el cuidado de la salud en muchos países, incluyendo a México (Fadia et al., 2021). La práctica de aprovechar los productos naturales, la flora y la fauna, para aliviar el dolor y curar enfermedades tanto del ser humano como de los animales domésticos es tan antigua como la historia de la civilización humana, en la actualidad los usos de las plantas medicinales tradicionales para el tratamiento de algunas enfermedades son cada vez mayores aumentando en todo el mundo (Mohammed et al., 2022).

Las plantas medicinales de uso común en nuestro país podrían ser una excelente fuente de medicamentos para combatir este problema (Manandhar et al., 2019). En este sentido, los extractos de plantas han recibido mucha atención en el combate a diversos microorganismos patógenos debido a su precio bastante más bajo, alta estabilidad, ausencia de riesgo de contaminación y fácil preparación (Kılıç et al., 2020). Aunado a esto, se ha demostrado que el uso de hierbas medicinales para buscar compuestos potencialmente activos promueve el interés y la producción científica, muchos medicamentos sintetizados provienen de fuentes naturales, incluidas las plantas medicinales, que pueden estar disponibles en forma de complementos alimenticios, nutracéuticos y medicinas alternativas y complementarias (Chebbac et al., 2021).

La planta *Artemisia* (Asteraceae), es ampliamente utilizada en la medicina tradicional mexicana, particularmente para el tratamiento de trastornos gastrointestinales (Palacios-Espinosa et al., 2021). *Artemisia ludoviciana* es un género de pequeñas hierbas y arbustos que se encuentran en las regiones templadas de Asia, Europa y América del Norte, pertenece a la importante familia Asteraceae, uno de los grupos de plantas más numerosos, que comprende alrededor de 1,000 géneros y más de 20,000 especies, esta planta tiene un amplio espectro de bioactividad, debido a la presencia de varios principios activos o metabolitos secundarios, que actúan a través de diversos modos de acción, mostrando amplias actividades farmacológicas y terapéuticas, y se ha utilizado como medicina tradicional desde la antigüedad como agentes antiespasmódicos, antirreumáticos, antiinflamatorios, antimicrobianos, antihelmínticos y antivenenos (Chebbac, et al., 2021; Nigam et al., 2019).

En la medicina tradicional mexicana, *A. ludoviciana* se ha utilizado para tratar o combatir padecimientos asociados a infecciones causadas por microorganismos patógenos, especialmente aquellas relacionadas con enfermedades intestinales (Gálvez-Romero et al., 2022). Las diferentes aplicaciones de esta especie vegetal han sido posibles gracias a su rica composición química, que incluye especialmente aceites esenciales, flavonoides, lactonas, ácidos fenólicos, cumarinas y otros grupos de metabolitos (Ekiert et al., 2020).

En lo que se refiere a la planta de *Moringa oleifera*, es originaria de Asia, en particular de la India, y también se cultiva en Filipinas, Sudán, Egipto y Sudáfrica, y es famosa por sus semillas, flores y hojas suaves y seguras para comer. Es una planta rica en proteínas, calcio y vitaminas, y es comúnmente conocida como el “árbol de la vida” o “el árbol

milagroso” (Tshabalala et al., 2020; Wang et al., 2023). Las hojas, en particular, son bien conocidas por sus poderes profilácticos y terapéuticos y, a menudo, se utilizan en la elaboración de platillos asiáticos, los extractos obtenidos de las hojas y semillas presentan una extraordinaria capacidad antioxidante y alta acción antibacteriana contra bacterias tanto Gram-positivas y Gram-negativas, además, los fitoquímicos en las hojas de *M. oleifera* muestran propiedades medicinales como anticancerígenas, antiinflamatorias, antidiabéticas y son adecuadas para aplicaciones en diferentes industrias, como alimentos, cosméticos y administración de medicamentos (Bhalla et al., 2022).

En sí, todas las partes de la planta poseen propiedades medicinales, mientras que las flores, hojas, semillas, vainas, tallo y corteza del árbol tienen un alto valor nutritivo, dadas sus propiedades ha sido probada como agente antimicrobial, así como en el tratamiento de aguas residuales y en recuperaciones de metales pesados de soluciones acuosas, ya que contiene varias moléculas activas (compuestos fenólicos y aceite esencial) las cuales presentan una alta actividad antibacteriana y antifúngica (Salem et al., 2021).

Ante los problemas de resistencia antimicrobiana a los antibióticos sintéticos que se comercializan o utilizan actualmente debido principalmente al mal uso o aplicación de estos, resultando en una grave amenaza para la salud pública, se ha trabajado mucho sobre el poder antimicrobiano de productos naturales entre los que se encuentran los extractos de ciertas plantas (Chebbac et al., 2021; Wang et al., 2023). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue la obtención de extractos etanólicos de plantas de *Moringa oleifera* y *Artemisia ludoviciana* y evaluar la capacidad antimicrobiana *in vitro* de dichos biocompuestos contra un aislado de *E. coli*.

Materiales y métodos

Preparación del material vegetal

Las semillas y hojas de *M. oleifera* y *A. ludoviciana* fueron adquiridas de un mercado local, se revisaron para descartar la presencia de materia extraña y para su acondicionamiento se trituraron por separado de forma manual con ayuda de un mortero para lograr su correcta homogenización, luego fueron almacenadas en bolsas de cierre hermético a una temperatura de 25 °C hasta su utilización.

Obtención de extractos de *Moringa oleifera* y *Artemisia ludoviciana*

Para la obtención de los extractos se siguió la metodología descrita por Oviedo-Farfan y Escobar-Bello (2020) con algunas modificaciones. Se pesaron 5 g de cada muestra triturada previamente, dicha cantidad fue vertida dentro de un matraz de aforación de 100 mL, utilizando tres matraces (1. hoja de *M. oleifera*, 2. semilla de *M. oleifera* y 3. hoja de *A. ludoviciana*), a cada matraz se le adicionaron 95 mL de alcohol etílico 96°, con la finalidad de exponer en su totalidad el material vegetal y facilitar la extracción de los compuestos presentes en dichas plantas. Posteriormente, los matraces fueron tapados y almacenados por 6 d en ausencia de luz y a una temperatura de 25 °C. Una vez transcurrido este tiempo, se realizó un filtrado utilizando un embudo metálico y papel filtro No. 1, el filtrado obtenido fue colocado en un matraz de ebullición redondo (24/40) para ser colocado en un evaporador rotatorio con la finalidad de concentrar el extracto y recuperar el solvente, al finalizar esta etapa, los extractos fueron vertidos en frascos de color ámbar con tapa y colocados en ausencia de luz a una temperatura de 25 °C hasta su utilización.

Aislamiento de *Escherichia coli*

Para el aislamiento de la bacteria *E. coli*, se siguió la metodología descrita en la NOM-110-SSA-1994. Muestras de 10 g de carne molida de res fueron obtenidas de varias carnicerías locales, dichas muestras se depositaron en bolsas estériles con cierre hermético en una hielera a una temperatura de 4 °C para su almacenamiento y transporte al Laboratorio de Microbiología del Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc. Una vez dentro de las instalaciones, la muestra fue macerada adicionándole agua peptonada estéril. Luego se prepararon diluciones utilizando agua peptonada estéril y se sembraron por difusión en placa en Agar EMB (Eosina-Azul de Metileno) y Agar MacConkey previamente vertido en cajas Petri de 90 mm, para luego ser incubadas a 37 ± 1 °C por 24 h, las colonias sospechosas para *E. coli*, fueron sembradas en los mismos agares para su purificación bajo las mismas condiciones de incubación. La bacteria fue identificada de acuerdo a sus características macroscópicas y microscópicas de crecimiento, transcurrido el periodo de incubación.

Evaluación de la capacidad antimicrobiana *in vitro* de los extractos

Para la evaluación de la capacidad antimicrobiana de cada extracto se siguió la metodología descrita por Montero-Recalde (2017). Utilizando una asa bacteriológica de nicromo se tomó una colonia de la cepa de *E. coli* previamente purificada en Agar MacConkey, se procedió a cultivar con ayuda del asa por estriado múltiple en Agar EMB y Agar MacConkey vertido previamente en cajas Petri de 90 mm, dejando reposar por 10 min antes de colocar los discos de papel filtro No. 1 impregnados con los diferentes extractos, así como con etanol al 70% como testigo, se les dejó secar

5 min antes de colocarse sobre el medio de cultivo inoculado. Luego con una pinza de disección estéril se ubicaron los discos impregnados con los extractos vegetales y se les presionó suavemente para permitir su adherencia al agar de manera apropiada en la placa y evitar que se desplazaran a través del medio de cultivo, se ubicaron 4 discos de cada extracto en cada caja en cada punto cardinal de forma equidistante, con tres repeticiones por caja para luego realizar el incubando a 37 ± 1 °C por 24 h. Posteriormente se procedió a realizar la lectura de los discos a través de la medición de los halos de inhibición presentes en las cajas Petri utilizando un calibrador Vernier digital con una escala de medición en milímetros.

Análisis estadístico

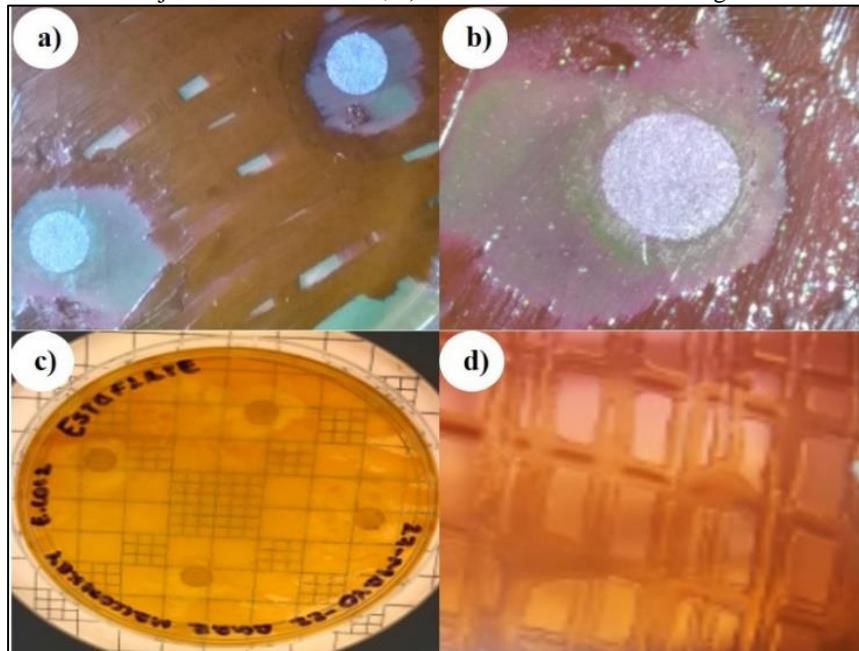
El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar con un mínimo de tres repeticiones. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza balanceado (ANDEVA) utilizando el software Statistical Analysis System (SAS versión 9.0).

Resultados y discusión

A partir de las 24 horas post inoculación se pudieron observar halos de inhibición causados por los extractos tanto de las hojas y semilla de *M. oleifera* como de las hojas de *A. ludoviciana* (Figura 1), los valores en milímetros de los diámetros de los halos se muestran en la Tabla 1. La inhibición causada por ciertos extractos obtenidos a partir de plantas es atribuida a que estos biocompuestos naturales pueden atravesar con éxito las paredes celulares y la membrana citoplasmática de diversos microorganismos, especialmente de las bacterias, induciendo trastornos de las macromoléculas (ácidos grasos, polisacáridos y fosfolípidos), el aceite esencial de *Artemisia* spp., presenta un potencial para combatir las cepas multiresistentes, tanto de bacterias Gram-positivas como Gram-negativas (Chebbac et al., 2021).

Se han sugerido diversos usos hacia el aceite esencial de *Artemisia* spp., ya que se ha visto que presenta cierta capacidad para disminuir o suprimir el desarrollo de varios tipos de insectos, parásitos microbianos y podría aplicarse para proteger los alimentos del deterioro causado por diversos microorganismos descomponedores o causantes de enfermedades tanto en humanos como en animales, la potente propiedad antimicrobiana del extracto de *Artemisa* se atribuye principalmente a la presencia del compuesto 1,8-cineol y al canfeno, este último, un monoterpeno bicíclico con excelentes propiedades antioxidantes y antimicrobianas, el cual se encuentra presente generalmente en las partes aéreas de la planta (tallo y hojas) (Bisht et al., 2021; Ekiert et al., 2020).

Figura 1. Halos de inhibición causados por los extractos de *M. oleifera* y *A. ludoviciana* mediante el método de disco. a) Halo de inhibición de hojas de *M. oleifera*; b) Halo de inhibición de semillas de *M. oleifera*; c) Halo de inhibición de hojas de *A. ludoviciana*; d) Crecimiento de *E. coli* en agar MacConkey.



Nota: Pruebas de inhibición *in vitro* de los extractos *M. oleifera* y *A. ludoviciana* contra *E. coli*.

Tabla 1. Actividad antimicrobiana de los extractos de *M. oleifera* y *A. ludoviciana* mediante el método de disco contra *E. coli*.

Fuente del extracto	Diámetro de inhibición de <i>E. coli</i> (mm)
Hoja de <i>M. oleifera</i>	7.8 ± 1.3
Semilla de <i>M. oleifera</i>	13.5 ± 1.7
Hoja de <i>A. ludoviciana</i>	8.8 ± 2.8

Nota: Los valores representan la media de al menos tres mediciones individuales \pm error estándar.

En lo que corresponde a los extractos obtenidos de *M. oleifera* son conocidos por su extraordinaria actividad antioxidante, debido a la presencia de altas cantidades de polifenoles, dichos compuestos tienen la capacidad de suprimir el crecimiento de cepas Gram-positivas (*Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*) y cepas Gram-negativas (*Escherichia coli*), se desconoce el mecanismo de acción molecular de *M. oleifera*, pero es probable que el extracto pueda inhibir la generación de trifosfato de adenosina a partir de la dextrosa y alterar la membrana celular (Özcan, 2020).

Los halos de inhibición de la semilla de *M. oleifera* hacia *E. coli* presentaron un tamaño de 13.5 ± 1.7 mm, mientras que la hoja de esta planta causó halos de 7.8 ± 1.3 mm, estos valores son similares a los reportados por Unegbu et al., (2020), para extractos de etanol de *M. oleifera* contra *E. coli* y *S. aureus* (20-8 mm de inhibición), observando además que el extracto en etanol de la hoja de *M. oleifera* posee mayor actividad antimicrobiana que el extracto acuoso, estos resultados indican que el extracto etanólico de semilla de *M. oleifera* tiene compuestos bioactivos que juegan un papel como agente antibacteriano, especialmente para *E. coli*.

En este sentido, el etanol es conocido como un solvente eficiente para la extracción de productos naturales debido a su mayor eficiencia y proceso más rápido, el etanol se considera un solvente universal que disuelve compuestos de materiales naturales, no polares, semipolares o polares, lo que implica que resulte más eficiente que el obtener extractos con agua (Nurafifah et al., 2021). Por otra parte, el extracto de hojas de *A. ludoviciana* provocó halos inhibitorios con un tamaño de 8.8 ± 2.8 mm sobre *E. coli*, lo que es indicativo de que dicha planta también posee actividad antimicrobiana hacia este patógeno. Valores de inhibición muy similares (9 mm) fueron reportados previamente por Delgadillo-Ruíz et al., (2017), al exponer un aislado de *E. coli* a un extracto de etanol de *A. ludoviciana*.

De la misma manera, Nurafifah et al., (2021), evaluaron el extracto de *M. oleifera* contra bacterias infecciosas tanto Gram-positivas como Gram-negativas incluyendo a *E. coli*, observando importantes zonas de inhibición respecto al crecimiento de estos microorganismos, lo que indica que el extracto etanólico de la semilla de *M. oleifera* tiene compuestos bioactivos que juegan un papel como agente antibacteriano, especialmente contra *E. coli*, lo que podría ayudar de alguna manera a reducir o superar los problemas de salud causados por la resistencia bacteriana a muchos antibióticos disponibles localmente o comercialmente (Oyebamiji et al., 2021).

La resistencia a los antibióticos en *E. coli* es motivo de especial preocupación porque es el patógeno bacteriano Gram-negativo más común que causa infecciones intestinales y extraintestinales en humanos, los productos frescos contaminados con bacterias Gram-positivas, como *Listeria* spp. y *Staphylococcus* spp. podrían ser fuentes potenciales de enfermedades transmitidas por los alimentos, la listeriosis causada por *L. monocytogenes* es peligrosa para las personas vulnerables; las mujeres embarazadas y sus fetos, además, los jóvenes y los ancianos son susceptibles a la listeriosis invasiva, con tasas de mortalidad que oscilan entre el 20 y el 40 % (Rahman et al., 2022).

Los resultados obtenidos por Abadallah y Ali (2019), donde se evaluó el efecto antimicrobial de extractos de *M. oleifera* contra un grupo de bacterias patógenas (*E. coli*, *Shigella* spp, *Salmonella typhi*, *Enterococcus faecalis* y *S. aureus*), revelaron la presencia de componentes bioactivos llamados fitoquímicos en extractos de hojas y semillas de *M. oleifera*, los fitoquímicos son metabolitos secundarios producidos por las plantas y estos componentes bioactivos pueden derivarse de cada parte de la planta, como hojas, corteza del tallo, raíces, flores. y semillas, dicho estudio mostró la presencia de alcaloides, saponinas y flavonoides, azúcares reductores, glucósidos, quinonas, taninos y terpenoides tanto en el extracto acuoso como etanólico de las hojas y semillas, donde la capacidad antimicrobiana de los extractos es atribuida a la presencia de todos estos compuestos. Se sabe que las semillas de *M. oleifera* poseen varios compuestos polifenólicos bioactivos, como ácido gálico, ácido o-cumárico, kaempferol, quercetina, mirecitina, rutina y ácido ferúlico, que tienen propiedades antioxidantes y antimicrobianas, que resultan efectivas contra los

principales patógenos asociados a enfermedades en humanos causadas por alimentos contaminados con dichos microorganismos (Sharma et al., 2020).

En otro estudio realizado por Smith et al., (2020), confirmaron la presencia de metabolitos secundarios en la planta de *M. oleifera* que alteran la expresión de más de 64 proteínas involucradas en varios procesos biológicos de *E. coli*, y 13 de las proteínas se modificaron, lo que causa una alteración significativa de la bacteria principalmente en la respuesta al estrés, los procesos metabólicos, la traducción, la síntesis ribosómica, la síntesis de membrana, la síntesis de ATP y otros procesos biológicos, donde todos estos factores contribuyen a causar la muerte de la bacteria. Las diferentes partes de la planta de *Moringa* se pueden utilizar como fuente natural para luchar contra las enfermedades infecciosas causadas por diversos microorganismos, que rápidamente se vuelven resistentes a los medicamentos disponibles (Tshabalala et al., 2020). La presencia de algunos metabolitos secundarios en los extractos de plantas con actividad antimicrobiana hace que estos cobren un papel relevante y promisorio, en especial por el alarmante incremento de la resistencia bacteriana a los fármacos que actualmente se utilizan (Martins et al., 2013).

Los resultados obtenidos en el presente estudio contribuyen al desarrollo de nuevas investigaciones enfocadas en el aprovechamiento de plantas utilizadas en la medicina tradicional mexicana, ya que además de su uso como tratamiento de diversos padecimientos, presentan un potencial para la aplicación en diversas áreas que permitan crear alternativas en el manejo y prevención de enfermedades causadas por patógenos, así como a la posible generación de nuevos antibióticos gracias a sus mecanismos de acción novedosos. Finalmente, se recomienda la realización de estudios enfocados en otros patógenos, especialmente los más comunes en alimentos, ya que este tipo de extractos podrían evitar su desarrollo y por ende contribuir al mejoramiento y preservación de la salud pública de la población mexicana.

Referencias bibliográficas

- Abadallah, M.S., Ali, M. (2019). Antibacterial activity of *Moringa oleifera* leaf extracts against bacteria isolated from patients attending general Sani Abacha Specialist Hospital Damaturu. *Journal of Allied Pharmaceutical Sciences*. 1(1): 61-66. <https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Saliyu-Abdallah-2/publication/332013718>
- Abebe, E., Gugsu, G., y Ahmed, M. (2020). Review on major food-borne zoonotic bacterial pathogens. *Journal of Tropical Medicine*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4674235>
- Barani, M., Zeeshan, M., Kalantar-Neyestanaki, D., Farooq, M. A., Rahdar, A., Jha, N. K., y Thakur, V. K. (2021). Nanomaterials in the management of gram-negative bacterial infections. *Nanomaterials*, 11(10), 2535. <https://doi.org/10.3390/nano11102535>
- Barlaam, A., Parisi, A., Spinelli, E., Caruso, M., Taranto, P. D., y Normanno, G. (2019). Global emergence of colistin-resistant *Escherichia coli* in food chains and associated food safety implications: A review. *Journal of Food Protection*, 82(8), 1440-1448. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-116>
- Bhalla, N., Ingle, N., Jayaprakash, A., Patel, H., Patri, S. V., y Haranath, D. (2022). Green Approach to Synthesize Nano Zinc Oxide via *Moringa oleifera* Leaves for Enhanced Anti-oxidant, Anti-acne and Anti-bacterial Properties for Health & Wellness Applications. *Arabian Journal of Chemistry*, 104506. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104506>
- Bisht, D., Kumar, D., Kumar, D., Dua, K., y Chellappan, D. K. (2021). Phytochemistry and pharmacological activity of the genus artemisia. *Archives of Pharmacal Research*, 44(5), 439-474. <https://doi.org/10.1007/s12272-021-01328-4>
- Chebbac, K., Moussaoui, A. E., Bourhia, M., Salamatullah, A. M., Alzahrani, A., y Guemmouh, R. (2021). Chemical analysis and antioxidant and antimicrobial activity of essential oils from *Artemisia negrei* L. Against drug-resistant microbes. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2021/5902851>
- Cole, M. B., Augustin, M. A., Robertson, M. J., y Manners, J. M. (2018). The science of food security. *npj Science of Food*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0021-9>
- Delgadillo-Ruíz, L., Bañuelos-Valenzuela, R., Delgadillo-Ruíz, O., Silva-Vega, M., Gallegos-Flores, P. (2017). Composición química y efecto antibacteriano *in vitro* de extractos de *Larrea tridentata*, *Origanum vulgare*, *Artemisa ludoviciana* y *Ruta graveolens*. *Nova Scientia*. 9(19): p. 273-290. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1019>
- Ekiert, H., Pajor, J., Klin, P., Rzepiela, A., Ślesak, H., y Szopa, A. (2020). Significance of *Artemisia vulgaris* L. (Common Mugwort) in the history of medicine and its possible contemporary applications substantiated by phytochemical and pharmacological studies. *Molecules*, 25(19), 4415. <https://doi.org/10.3390/molecules25194415>
- Eltai, N.O., Yassine, H.M., Al Thani, A.A., Abu Maid, M.A., Ismail, A., Ibrahim, E., Alali, W.Q. (2018) Prevalence of antibiotic resistant *Escherichia coli* isolates from fecal samples of food handlers in Qatar. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*. 7(1): p. 1-7. <https://doi.org/10.1186/s13756-018-0369-2>

- FadiaTaufik, M., Rashed, A., Oshkondali, S. T., Alacrouk, S. A., y Sleman, K. (2021). Antibacterial activities of *Moringa oleifera* leaf extract on some human pathogenic bacteria. *Saudi Journal of Medical and Pharmaceutical Sciences*, 7, 426-431. <https://doi.org/10.36348/sjimps.2021.v07i08.009>
- Fernández, S., Marcía, J., Bu, J., Baca, Y., Chávez, V., Montoya, H., Varela, I., Ruiz, J., Lagos, S., Ore, F. (2021). Enfermedades transmitidas por Alimentos (Etas): Una Alerta para el Consumidor. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 5(2): p. 2285. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/433/542>
- Fung, F., Wang, H.-S., y Menon, S. (2018). Food safety in the 21st century. *Biomedical Journal*. 41(2): p. 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.03.003>
- Gálvez-Romero, J. L., Parada-Sosa, C. M., León-Burgoa, G., Lorenzo-Leal, A. C., El Kassis, E. G., Bautista-Rodríguez, E., Paredes-Juárez, G.A., Hernández, L.R., Bach, H., y Juárez, Z. N. (2022). Antimycobacterial, cytotoxic, and anti-inflammatory activities of *Artemisia ludoviciana*. *Journal of Ethnopharmacology*, 293, 115249. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115249>
- Kılıç, A.B., Altinkaynak, C., Ildiz, N., Ozdemir, N., Yilmaz, V., y Ocsoy, I. (2020). A new approach for green synthesis and characterization of *Artemisia l.* (Asteraceae) genotype extracts-Cu₂ nanocomplexes (nanoflower) and their effective antimicrobial activity. *Medicine Science International Medical Journal*. 9(191-196). <https://doi.org/10.5455/medscience.2019.08.9165>
- Luna-Guevara, J.J., Arenas-Hernandez, M.M., 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*. <https://doi.org/10.1155/2019/2894328>
- Manandhar, S., Luitel, S., Dahal, R.K. (2019). *In vitro* antimicrobial activity of some medicinal plants against human pathogenic bacteria. *Journal of Tropical Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2019/1895340>
- Martins, S., Teixeira, J.A., Mussatto, S.I. (2013). Solid-state fermentation as a strategy to improve the bioactive compounds recovery from *Larrea tridentata* leaves. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 171(5): p. 1227-1239. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0222-2>
- Mirsepasi-Lauridsen, H.C., Vallance, B.A., Krogfelt, K.A., Petersen, A.M. (2019). *Escherichia coli* pathobionts associated with inflammatory bowel disease. *Clinical Microbiology Reviews*. 32(2): p. e00060-18. <https://doi.org/10.1128/CMR.00060-18>
- Mohammed, S., Dekabo, A., y Hailu, T. (2022). Phytochemical analysis and anti-microbial activities of *Artemisia* spp. and rapid isolation methods of artemisinin. *AMB Express*, 12(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01346-5>
- Montero-Recalde, M.A., Martinez-Jiménez, J.A., Avilés-Esquivel, D.F., Valle-Velástegui, E.L., Pazmiño-Miranda, N.D.P. (2017). Efecto antimicrobiano del extracto crudo oleoso de *Rosmarinus officinalis* sobre cepa de *Escherichia coli*. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. 5(2): p. 168-175. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592017000200012&lng=es.
- Nigam, M., Atanassova, M., Mishra, A. P., Pezzani, R., Devkota, H. P., Plygun, S., y Sharifi-Rad, J. (2019). Bioactive compounds and health benefits of *Artemisia* species. *Natural product communications*, 14(7), 1934578X19850354. <https://doi.org/10.1177/1934578X19850354>
- Nurafifah, D. A., Widyastuti, D. A., y Minarti, I. B. (2021). Activity of *Moringa oleifera* seed ethanolic extract against *E. coli*. *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology (ASSET)*, 3(2), 0210207. <https://doi.org/10.26877/asset.v3i2.9603>
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2014). Antimicrobial resistance: global report on surveillance.
- Oviedo-Farfan, K.T., Escobar-Bello M.L. (2020). Propuesta para la elaboración de un gel antibacterial con base en las hojas de *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) cultivada en Colombia, en Facultad de Ingenierías. *Fundación Universidad de América: Colombia*. p. 165.
- Oyebamiji, A. K., Folorunso, A. S., y Akintelu, S. A. (2021). Phytochemical and antibacterial investigation of *Moringa oleifera* seed: experimental and computational approaches. *Eclética Química*, 46(2), 17-25. <https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v46.2.2021.p17-25>
- Özcan, M. (2020). *Moringa* spp: Composition and bioactive properties. *South African Journal of Botany*. 129: p. 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.11.017>
- Palacios-Espinosa, J.F., Núñez-Aragón, P.N., Gomez-Chang, E., Linares, E., Bye, R., Romero, L. (2021). Anti-*Helicobacter pylori* activity of *Artemisia ludoviciana* subsp. *mexicana* and two of its bioactive components, estafiatin and eupatilin. *Molecules*. 26(12): p. 3654. <https://doi.org/10.3390/molecules26123654>
- Rahman, M., Alam, M. U., Luies, S. K., Kamal, A., Ferdous, S., Lin, A., Shairor, F., Khan, R., Rahman, Z., Parvez, S.M., Amin, N., Hasan, R., Tadesse, B.T., Taneja, N., Islam, M.A., y Ercumen, A. (2022). Contamination of fresh produce with antibiotic-resistant bacteria and associated risks to human health: a scoping review. *International journal of environmental research and public health*, 19(1), 360. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010360>

- Rohr, J. R., Barrett, C. B., Civitello, D. J., Craft, M. E., Delius, B., DeLeo, G. A., y Tilman, D. (2019). Emerging human infectious diseases and the links to global food production. *Nature sustainability*, 2(6), 445-456. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0293-3>
- Salem, M.Z., Ali, H.M., Akrami, M. (2021). *Moringa oleifera* seeds-removed ripened pods as alternative for papersheet production: Antimicrobial activity and their phytoconstituents profile using HPLC. *Scientific Reports*. 11(1): p. 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98415-9>
- Sharma, P., Wichaphon, J., y Klangpetch, W. (2020). Antimicrobial and antioxidant activities of defatted *Moringa oleifera* seed meal extract obtained by ultrasound-assisted extraction and application as a natural antimicrobial coating for raw chicken sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 332, 108770. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108770>
- Smith, B. E., Orders, T., Slate, J., Bauldry, S., Emrani, J., Idassi, J., Ahmed, M., Cecile, J., Bailey, C.S., Nguyen, N.A., y Mowa, C. (2020). Proteomics analysis reveal that *Moringa oleifera* kills *Escherichia coli* by altering multiple biological processes. *South African Journal of Botany*, 129, 366-378. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.08.056>
- Tessema, A.G., Gelaye, K.A., Chercos, D.H. (2014). Factors affecting food handling Practices among food handlers of Dangila town food and drink establishments, North West Ethiopia. *BMC Public Health*. 14(1): p. 1-5. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-571>
- Tshabalala, T., Ndhala, A. R., Ncube, B., Abdelgadir, H. A., y Van Staden, J. (2020). Potential substitution of the root with the leaf in the use of *Moringa oleifera* for antimicrobial, antidiabetic and antioxidant properties. *South African Journal of Botany*, 129, 106-112. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.01.029>
- Unegbu, V., Nkwoemeka, N., Okey-Ndeche, F., Obum-Nnadi, C. (2020). Phytochemical and Antibacterial Properties of *Moringa oleifera* leaf extracts on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Nigerian Journal of Microbiology*. 34(1): p. 5145-5152 <https://www.researchgate.net/profile/Ndidi-Nkwoemeka/publication/343084196>
- Wang, X., He, L., Huang, Z., Zhao, Q., Fan, J., Tian, Y., y Huang, A. (2023). Isolation, identification and characterization of a novel antimicrobial peptide from *Moringa oleifera* seeds based on affinity adsorption. *Food Chemistry*, 398, 133923. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133923>
- Zazharskyi, V., Davydenko, P., Kulishenko, O., Borovik, I.V., Brygadyrenko, V.V. (2019). Antimicrobial activity of 50 plant extracts. *Biosystems Diversity*. 27(2): p. 163-169. <https://doi.org/10.15421/011922>

