

Potencial antioxidante y antimicrobiano de extractos de flores silvestres del Norte de Sinaloa, México

Torres, S.^{1*} ; Castro, L.¹; Martínez, A.¹ ; Monroy, I.¹ 

¹Instituto Tecnológico de Los Mochis, Tecnológico Nacional de México, Los Mochis, Sinaloa, México

*autor por correspondencia: imelda.mg@mochis.tecnm.mx

Potencial antioxidante y antimicrobiano de extractos de flores silvestres del Norte de Sinaloa, México. El norte de Sinaloa, México, alberga una rica diversidad de especies florales silvestres cuyo potencial fitoquímico no ha sido explorado previamente. Este estudio presenta de manera integral la evaluación de la actividad antioxidante y antimicrobiana, de extractos metanólicos y de acetato de etilo obtenidos de especies de flores silvestres: *Albizia lebbbeck*, *Boerhavia coccinea*, *Combretum indicum*, *Hylocereus undatus*, *Melampodium divaricatum*, *Vitex trifolia* y *Yucca schidigera*. Los extractos se prepararon mediante extracción sólido-líquido asistida por ultrasonido. La actividad antioxidante se evaluó mediante ensayos DPPH y ABTS, así como la cuantificación de fenoles totales. Los resultados mostraron que el extracto metanólico de *B. coccinea* presentó la mayor actividad antioxidante (IC₅₀ DPPH = 16.4 ± 0.7 µg/mL; IC₅₀ ABTS = 75.1 ± 3.0 µg/mL), y el mayor contenido fenólico (326.6 ± 1.67 mg AG/g extracto). El extracto de metanol de *C. Indicum* también mostró actividad antioxidante destacada (IC₅₀ DPPH = 63.1 ± 2.5 µg/mL; IC₅₀ ABTS = 92.86 ± 3.7 µg/mL; 208.5 ± 9.1 mg AG/g extracto). La actividad antimicrobiana se determinó mediante el método de concentración mínima inhibitoria y de difusión en disco contra *Staphylococcus aureus* ATCC, *Staphylococcus aureus* MRSA, *Salmonella* Typhimurium, *Escherichia coli* ATCC y *Escherichia coli* EAEC, observándose halos de inhibición significativos en varios extractos. Los extractos, además, demostraron actividad protectora contra hemólisis de eritrocitos inducida por AAPH. Estos hallazgos evidencian que las flores silvestres del norte de Sinaloa constituyen una fuente prometedora de metabolitos secundarios con múltiples bioactividades, destacando especialmente *B. coccinea* y *C. indicum* como candidatos para estudios fitoquímicos más profundos y desarrollo de productos bioactivos naturales.

Palabras clave: etnobotánica, fenoles totales, metabolitos secundarios

Antioxidant and antimicrobial potential of wildflower extracts from northern Sinaloa, Mexico. Northern Sinaloa, Mexico, harbors a rich diversity of wild floral species whose phytochemical potential has not been previously explored. This study presents a comprehensive evaluation of the antioxidant and antimicrobial activities of methanolic and ethyl acetate extracts obtained from wild flower species, including *Albizia lebbbeck*, *Boerhavia coccinea*, *Combretum indicum*, *Hylocereus undatus*, *Melampodium divaricatum*, *Vitex trifolia* and *Yucca schidigera*. The extracts were prepared using ultrasound-assisted solid-liquid extraction. Antioxidant activity was assessed using DPPH and ABTS assays, as well as total phenolic content determination by the Folin-Ciocalteu method. The results showed that the methanolic extract of *B. coccinea* exhibited the highest antioxidant activity (DPPH IC₅₀ = 16.4 µg/

mL; ABTS IC_{50} = 75.1 μ g/mL) and the highest phenolic content (326.6 ± 1.67 mg GAE/g extract). The methanolic extract of *C. indicum* also displayed notable antioxidant activity (DPPH IC_{50} = 63.1 μ g/mL; ABTS IC_{50} = 92.86 μ g/mL; 208.5 ± 9.1 mg GAE/g extract). Antimicrobial activity was evaluated using the disk diffusion method against *Staphylococcus aureus* ATCC, *Staphylococcus aureus* MRSA, *Salmonella* Typhimurium, *Escherichia coli* ATCC, and *Escherichia coli* EAEC, revealing significant inhibition zones for several extracts. In addition, the extracts demonstrated protective activity against AAPH-induced hemolysis. These findings indicate that wild flowers from northern Sinaloa represent a promising source of secondary metabolites with multiple bioactivities, highlighting *B. coccinea* and *C. indicum* as strong candidates for further phytochemical studies and the development of natural bioactive products.

Keywords: ethnobotany, total phenolics, secondary metabolites

INTRODUCCIÓN

México constituye uno de los principales centros de biodiversidad vegetal del mundo, con más de 23,000 especies de plantas vasculares, cerca de la mitad endémicas (Villaseñor, 2016). En este contexto, los ecosistemas del estado de Sinaloa albergan una elevada riqueza florística y un potencial fitoquímico aún poco explorado (González-Elizondo *et al.*, 2022). Esta diversidad representa una fuente promisoría de metabolitos secundarios con actividades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias y neuroprotectoras de interés farmacéutico e industrial (Atanasov *et al.*, 2021).

Diversas familias botánicas, entre ellas Asteraceae, Lamiaceae y Fabaceae, son reconocidas por la riqueza de compuestos bioactivos presentes en sus órganos florales y por sus aplicaciones medicinales tradicionales (Rolnik y Olas, 2021; Jadhavar y Deshpande, 2022; Karageçili, 2025). Especies como *Calendula officinalis*, *Matricaria chamomilla* y diversos representantes del género *Vitex* han mostrado actividades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias asociadas a la presencia de flavonoides, compuestos fenólicos y terpenoides (Zaki y Wan Salleh, 2020; El Mihyaoui *et al.*, 2022; Shahane *et al.*, 2023).

A pesar del valor ecológico y etnobotánico de la flora del norte de Sinaloa, existe un vacío crítico en la caracterización científica de sus flores

silvestres. La literatura actual suele enfocarse en especies cultivadas o en poblaciones de otras latitudes, ignorando las variaciones en el perfil de metabolitos secundarios que las condiciones climáticas y geográficas de la región pueden inducir. La valoración de estos recursos fitogenéticos locales es fundamental no solo para el descubrimiento de nuevas fuentes de antioxidantes y compuestos con actividad biológica que enfrenten retos de salud pública, sino también para sentar las bases de un aprovechamiento sustentable en las comunidades rurales (Briones *et al.*, 2025).

Las especies seleccionadas representan distintos grupos taxonómicos con antecedentes etnobotánicos y farmacológicos relevantes. *Boerhavia coccinea* y especies del género *Yucca* han sido empleadas tradicionalmente para el tratamiento de procesos inflamatorios y afecciones renales (Patel, 2012; Piegang *et al.*, 2021), mientras que *Hylocereus undatus* destaca por la presencia de betalainas y compuestos fenólicos en sus flores (Liu *et al.*, 2015). Por su parte, *Combretum indicum*, *Vitex trifolia* y *Albizia lebbek* presentan antecedentes de uso medicinal en sistemas tradicionales asiáticos (Zheng *et al.*, 2015; Ray y Ray, 2020). Asimismo, *Melampodium divaricatum*, una especie abundante en ambientes perturbados constituye una fuente potencial de metabolitos bioactivos aún poco estudiada.

Bajo esta premisa, el objetivo del presente trabajo fue evaluar de manera integral el potencial

biotecnológico de estas siete especies de flores silvestres del norte de Sinaloa. Se determinó el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante in vitro y ex vivo de extractos de diferente polaridad, asistido por ultrasonido. Asimismo, se evaluó su actividad inhibitoria frente a patógenos Gram-positivos y Gram-negativos, y se analizaron las posibles asociaciones entre el contenido fenólico y las bioactividades observadas. Por lo que se plantea como hipótesis que las flores silvestres del norte de Sinaloa contienen metabolitos fenólicos capaces de conferir actividad antioxidante, antimicrobiana y protectora frente al daño oxidativo celular.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección e Identificación del Material Vegetal

Las flores silvestres fueron recolectadas durante los meses de julio a octubre de 2024 en diferentes localidades del norte del estado de Sinaloa, México, específicamente en los municipios de Ahome y El Fuerte. Las coordenadas geográficas (Tabla 1) de los sitios de recolección se registraron mediante Sistema de Posicionamiento Global (GPS). La identificación taxonómica fue realizada por el responsable del herbario del Instituto Tecnológico de Los Mochis, y ejemplares voucher fueron depositados en la colección institucional.

Las flores frescas fueron transportadas al laboratorio en bolsas de papel kraft, donde se realizó una limpieza manual para remover material extraño, insectos y partes dañadas. Poste-

riormente, el material se sometió a un proceso de secado utilizando un deshidratador de alimentos (Septree modelo DCS-04^a), a una temperatura de 40 °C hasta alcanzar peso constante. El material seco se molió en un molino eléctrico (IKA M20, Alemania) hasta obtener un polvo fino que pasó por un tamiz de malla 40 (425 µm). El polvo vegetal se almacenó en frascos de vidrio ámbar herméticamente cerrados a temperatura ambiente hasta su uso.

Preparación de Extractos

Los extractos se prepararon mediante extracción sólido-líquido asistida por ultrasonido utilizando metanol (MeOH) y acetato de etilo (AcO-Et), ambos grado analítico (J.T. Baker, México). Se pesaron 20-45 g de material vegetal seco y molido en una balanza analítica (Ohaus Pioneer, precisión 0.0001 g) y se colocaron en matraces Erlenmeyer de 500 mL. Se añadió el solvente en una relación sólido:líquido 1:5 (p/v). Los matraces se colocaron en un baño de ultrasonido (Kozfule, 40 kHz, 135 W) a temperatura ambiente (25-28 °C), durante 60 minutos. Posteriormente, las mezclas se filtraron a través de papel filtro Whatman No. 1 para separar el residuo sólido del extracto líquido.

Los extractos filtrados se concentraron a presión reducida en un rotavapor (Buchi R-200, Alemania) a 40 °C para el metanol y 45 °C para el acetato de etilo. Los extractos concentrados se transfirieron a viales de vidrio previamente tarados y se secaron en una estufa a 40 °C durante 24 horas para eliminar trazas residuales de solvente. Los extractos secos se pesaron para calcular el

Tabla 1. Nombres y coordenadas geográficas del punto de recolección de las especies utilizadas en este estudio

Especie	Coordenadas
<i>Albizia lebbbeck</i>	25°47'49.7"N 108°58'35.7"W
<i>Boerhavia coccinea</i>	25°45'13.7"N 109°01'39.0"W
<i>Combretum indicum</i>	25°45'04.8"N 109°01'44.9"W
<i>Hylocereus undatus</i>	25°49'17.23"N 108°59'23.9"W
<i>Melampodium divaricatum</i>	26°03'35.9"N 109°00'55.9"W
<i>Vitex trifolia</i>	25°47'49.2"N 108°58'35.2"W
<i>Yucca schidigera</i>	25°47'52.5"N 108°58'34.1"W

rendimiento de extracción según la fórmula:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso del extracto seco}}{\text{Peso del material vegetal seco}} \cdot 100$$

Los extractos se almacenaron en viales ámbar a 4 °C hasta su análisis.

Determinación de Fenoles Totales

El contenido de fenoles totales se determinó mediante el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (Viveros-Valdez *et al.*, 2016). Se preparó una curva de calibración con ácido gálico (Sigma-Aldrich) en concentraciones de 0, 2, 4, 6, 8 y 10 mg/L. Para cada tubo de la curva y las muestras, se mezclaron 500 µL de muestra o estándar con 250 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu 1N (diluido 1:1 con agua destilada) y se dejó reposar durante 5 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, se añadieron 1250 µL de solución de carbonato de sodio al 20% (p/v) y se mezcló vigorosamente. Las mezclas se incubaron en oscuridad a temperatura ambiente durante 30 minutos.

Transcurrido el tiempo de incubación, se midió la absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (JENWAY 7305 UV-Vis). Se utilizó un blanco preparado con 500 µL de agua destilada en lugar de muestra. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. El análisis se llevó a cabo mediante un diseño experimental que incluyó dos ensayos independientes. A su vez, cada una de estas réplicas se evaluó por triplicado técnico (n = 6 mediciones totales por tratamiento). Los resultados se expresan como media ± desviación estándar como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco (mg EAG/g extracto), calculados mediante interpolación en la curva de calibración ($R^2 > 0.99$).

Evaluación de Actividad Antioxidante

La actividad antioxidante se evaluó mediante dos métodos complementarios: el ensayo de

captura del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH•) y el ensayo de decoloración del catión radical ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS•+). Para el ensayo del DPPH se siguió la metodología de Gonçalves *et al.*, (2020) con ligeras modificaciones. Se preparó una solución stock de DPPH• (Sigma-Aldrich) 0.25 mM en mezcla de metanol/agua (80:20, v/v), ajustando la concentración hasta obtener una absorbancia de 1.2 a 517 nm. Se realizaron diluciones seriadas de los extractos en ambos solventes, desde 0.25 mg/mL hasta 0.0078 mg/mL, utilizando metanol como solvente. En tubos Eppendorf de 2 mL, protegidos de la luz con papel aluminio, se agregaron 1 mL de cada dilución del extracto (0.25, 0.125, 0.0625, 0.03125, 0.0156 y 0.0078 mg/mL) y 1 mL de la solución de DPPH• correspondiente al mismo solvente. Las mezclas se agitaron vigorosamente y se mantuvieron a temperatura ambiente, en oscuridad, durante 30 minutos. Finalizado el tiempo de reacción, se midió la absorbancia de cada muestra a 517 nm en un espectrofotómetro UV/VIS. Asimismo, se incluyó un control de DPPH• sin extracto, utilizando metanol o acetato de etilo y como control positivo se utilizó ácido ascórbico (Sigma-Aldrich) en un rango de concentraciones equivalente al de los extractos (0.0078–0.25 mg/mL). El análisis se llevó a cabo mediante un diseño experimental que incluyó dos ensayos independientes. A su vez, cada una de estas réplicas se evaluó por triplicado técnico (n = 6 mediciones totales por tratamiento). A partir de los valores obtenidos, se calculó porcentaje de inhibición para cada concentración del extracto. Los datos se ajustaron mediante un modelo de regresión no lineal. Con la ecuación resultante, se determinó el IC₅₀, definido como la concentración necesaria del extracto para inhibir el 50% del radical DPPH•, el valor final del IC₅₀ se expresó en µg/mL.

Para el ensayo ABTS se siguió la metodología propuesta por Torres-Bojórquez y Cardador-Martínez (2017). El catión radical ABTS•+

se generó mediante la reacción de 7 mM de ABTS (Sigma-Aldrich) con 2.45 mM de persulfato de potasio en agua destilada, se sonicó durante 5 minutos y posteriormente se incubó en oscuridad a temperatura ambiente durante 16 horas. Una vez formado el radical, la solución se diluyó con metanol al 95% hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 a 732 nm. El ensayo se realizó en tubos Eppendorf de 2 mL, protegidos de la luz con papel aluminio. En cada tubo se agregaron 50 µL de cada dilución del extracto (0.25, 0.125, 0.0625, 0.03125, 0.0156 y 0.0078 mg/mL) y 1450 µL de la solución del radical ABTS•+. Las mezclas se agitaron vigorosamente y se incubaron a temperatura ambiente, en oscuridad, durante 30 minutos. Transcurrido el tiempo de reacción, se midió la absorbancia de cada muestra a 732 nm en un espectrofotómetro UV/VIS. El análisis se llevó a cabo mediante un diseño experimental que incluyó dos ensayos independientes. A su vez, cada una de estas réplicas se evaluó por triplicado técnico (n = 6 mediciones totales por tratamiento). Se incluyó un control de ABTS•+ sin extracto utilizando metanol o acetato de etilo y como control positivo se usó TROLOX (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico) en un rango de concentraciones equivalente al de los extractos (0.0078–0.25 mg/mL). El porcentaje de inhibición y los valores de IC₅₀ se calcularon de manera análoga al ensayo DPPH.

Actividad Antibacteriana

Cepas bacterianas y medios de cultivo

Los microorganismos evaluados fueron seleccionados por su relevancia en salud pública y su uso frecuente como modelos de referencia en estudios de actividad antimicrobiana, incluyendo bacterias Gram positivas asociadas a infecciones humanas y bacterias Gram negativas relacionadas con enfermedades gastrointestinales y transmitidas por alimentos.

Los microorganismos de ensayo utilizados en este estudio incluyeron dos cepas de *Staphylococcus aureus* (la cepa de referencia ATCC

25923 y un aislado clínico resistente a meticilina, SARM) y tres cepas de bacilos Gram negativos (la cepa de referencia *Escherichia coli* ATCC 25922, junto con los aislados clínicos *Escherichia coli* EAEC y *Salmonella Typhimurium*). Los aislados de origen clínico fueron obtenidos de la colección de cultivos del laboratorio de microbiología de nuestro Instituto. Todas las cepas se mantuvieron congeladas preservadas en glicerol al 20 %. Los medios de cultivo utilizados para el crecimiento bacteriano y los análisis posteriores fueron caldo y agar Mueller-Hinton.

Evaluación de la Actividad Antimicrobiana por Difusión en Pozo

Para la evaluación de la actividad antimicrobiana, las cepas bacterianas patógenas se activaron previamente mediante cultivo *overnight* (18–24 h) en caldo Mueller-Hinton a 37 °C. Para el bioensayo de difusión en pozo de agar, se prepararon cajas Petri con agar Mueller-Hinton estéril, sobre cuya superficie se distribuyeron uniformemente alícuotas de 100 µL de los cultivos bacterianos activos empleando la técnica de extensión en placa con el fin de obtener un crecimiento confluyente (césped bacteriano). Una vez absorbido el inóculo, se perforaron pozos de 6 mm de diámetro en la matriz de agar utilizando una punta de micropipeta estéril, depositando dentro de cada uno 100 µL de los respectivos extractos de flores a una concentración de 6 mg/mL, siguiendo la metodología propuesta por (China *et al.*, 2012). Como control positivo se empleó el antibiótico amikacina, adicionando una concentración final de 30 µg/pozo. Como control negativo se utilizó de forma independiente el solvente puro empleado para la preparación y obtención de los extractos (metanol o acetato de etilo, según correspondiera), permitiendo así descartar cualquier efecto inhibitorio inherente al vehículo de extracción. Las placas se incubaron a 37 °C por 24 h. Finalizado el periodo de incubación, se midió el diámetro de la zona clara de inhibición (IZD, por sus siglas en inglés) alrededor de cada pozo em-

pleando una regla graduada en milímetros (mm), incluyendo el diámetro del pozo de 6 mm. Los resultados se expresaron como el promedio de tres réplicas independientes $\pm$ la desviación estándar y el nivel de susceptibilidad bacteriana se interpretó de acuerdo con los criterios descritos por Sreepian *et al.* (2023): actividad nula (IZD = 6 mm), actividad débil (6 mm < IZD 12 mm), actividad moderada (12 mm < IZD < 20 mm) y actividad fuerte (IZD > 20 mm).

Determinación de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI)

La concentración mínima inhibitoria (CMI) de los extractos florales se determinó mediante el método de microdilución en caldo utilizando microplacas estériles de 96 pocillos. Las cepas bacterianas (*Escherichia coli* EAEC, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* SARM, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 y *Salmonella Typhimurium* ATCC 14028) fueron previamente activadas en caldo Mueller-Hinton e incubadas a 37 °C durante 24 h. El inóculo se ajustó a una densidad equivalente al estándar 0.5 de McFarland mediante medición espectrofotométrica a 625 nm.

Los extractos se evaluaron mediante diluciones seriadas en caldo Mueller-Hinton, obteniéndose concentraciones finales entre 4000 y 31.25 $\mu\text{g/mL}$. Como controles se emplearon caldo Mueller-Hinton estéril (control de esterilidad), medio inoculado sin extracto (control de crecimiento) y los disolventes utilizados durante la extracción en concentraciones equivalentes a las ensayadas (control de disolvente). Posteriormente, se adicionó el inóculo bacteriano y las microplacas se incubaron a 37 °C durante 24 h.

La CMI se definió como la menor concentración del extracto capaz de inhibir completamente el crecimiento bacteriano visible, determinado por ausencia de turbidez en comparación con los controles correspondientes (Hemeg *et al.*, 2020). Con el fin de garantizar la reproducibilidad experimental, todos los ensayos analíticos y sus

respectivos controles se realizaron por triplicado mediante experimentos independientes.

Actividad protectora contra hemólisis de eritrocitos

La capacidad protectora de los extractos contra el daño oxidativo en membranas celulares se evaluó mediante el ensayo de inhibición de hemólisis inducida por el radical AAPH• (2,2'-azobis (2-amidinopropano) dihidrocloruro) en eritrocitos humanos (Monroy-García *et al.*, 2021). Se obtuvieron muestras de sangre venosa de donadoras sanas (mujeres entre 22 y 24 años, con consentimiento informado) en tubos con EDTA (ácido etilendiaminetetraacético) como anticoagulante. Los eritrocitos se separaron por centrifugación a $1500 \times g$ durante 10 minutos a 4 °C, se lavaron tres veces con Buffer Salino de Fosfatos (BSF) (pH 7.4) y se resuspendieron en 4 volúmenes de BSF para obtener una densidad celular de 8×10^9 eritrocitos/mL.

En tubos de ensayo, se mezclaron 250 μL de suspensión de eritrocitos con 250 μL de extracto disuelto en BSF a diferentes concentraciones (1000, 500, 250, 125 y 62.5 $\mu\text{g/mL}$), junto con 250 μL de AAPH• 300 mM en BSF, en tubos Eppendorf de 2 mL. Los tubos se incubaron a 37 °C en baño maría con agitación suave durante 4 horas. Como control positivo (100% hemólisis) se utilizó agua destilada, y como control negativo (0% hemólisis) se omitió el AAPH•. Se utilizó ácido ascórbico (1 mg/mL) como control comparativo. Después de la incubación, los tubos se centrifugaron a $1500 \times g$ durante 10 minutos, y se midió la absorbancia del sobrenadante a 540 nm para cuantificar la hemoglobina liberada. El porcentaje de inhibición de hemólisis se calculó como:

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{[A_{AAPH} - A_s]}{A_{AAPH}} \times 100$$

Donde:

A_{AAPH} = absorbancia del control con AAPH• a 540 nm.

A_s = absorbancia de las muestras con extractos a 540 nm.

La concentración del extracto que produjo una inhibición del 50% (IC₅₀) se determinó a partir de la curva dosis-respuesta, graficando el porcentaje de inhibición frente a la concentración del extracto. El análisis se llevó a cabo mediante un diseño experimental que incluyó dos ensayos independientes. A su vez, cada una de estas réplicas se evaluó por triplicado técnico (n = 6 mediciones totales por tratamiento).

Análisis Estadístico

Los datos se expresan como media ± desviación estándar (DE) de dos ensayos independientes con tres réplicas técnicas (n=6). Los valores de IC₅₀ (DPPH, ABTS y hemólisis de eritrocitos) se calcularon mediante análisis de regresión Probit o no lineal de cuatro parámetros utilizando el software GraphPad Prism v. 8.0. Las correlaciones entre el rendimiento de extracción, el contenido de fenoles totales y las actividades antioxidantes determinadas mediante los ensayos DPPH y ABTS se evaluaron utilizando el coeficiente de correlación de Spearman debido al reducido tamaño muestral y a la posible desviación de los supuestos de normalidad. Los coeficientes de correlación (r) y sus respectivos valores de significancia (p) se representaron mediante mapas de calor (heatmaps) generados en la plataforma MetaboAnalyst 6.0. Se consideró diferencia estadísticamente significativa cuando $p < 0.05$. Los gráficos y figuras complementarias se elaboraron utilizando Microsoft Excel 2021.

RESULTADOS

Rendimiento de Extractos

Las flores evaluadas se pueden observar en la figura 1. Los rendimientos entre especies y sol-

ventes utilizados se presentan en la Tabla 2. Los extractos metanólicos exhibieron rendimientos superiores a los de acetato de etilo en la mayoría de las especies. El mayor rendimiento se obtuvo con el extracto metanólico de *Yucca schidigera* (23.27%), seguido por *Vitex trifolia* (10.62%) y *Albizia lebbbeck* (9.94%). Los rendimientos más bajos se observaron en los extractos de acetato de etilo de *Hylocereus undatus* (1.35%), *Yucca schidigera* (1.66%) y *Combretum indicum* (2.60%). *Boerhavia coccinea* mostró rendimientos similares con ambos solventes (6.71% metanol, 6.57% acetato de etilo).

Contenido de Fenoles Totales

El contenido de fenoles totales, expresado como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco (mg EAG/g), mostró una variabilidad considerable entre especies y solventes (Tabla 3). Los extractos de metanol de *Boerhavia coccinea* (326.60 ± 1.67 mg EAG/g) y *Combretum indicum* (208.53 ± 9.13 mg EAG/g) presentaron los contenidos fenólicos más elevados. *Hylocereus undatus* mostró contenidos fenólicos significativos en el extracto de acetato de etilo (128.6 ± 12.1 mg EAG/g) así como *Vitex trifolia* (164.5 ± 3.76 mg EAG/g). Los contenidos fenólicos más bajos se observaron en *Melampodium divaricatum* (27.38 ± 2.06 mg EAG/g en metanol, 10.11 ± 2.1 mg EAG/g en acetato de etilo) y *Yucca schidigera* (13.63 ± 2.1 mg EAG/g en metanol, 27.70 ± 2.06 mg EAG/g en acetato de etilo).

Actividad Antioxidante

La actividad antioxidante expuesta en la Tabla 4, evaluada mediante los ensayos DPPH y ABTS reveló diferencias entre especies y solventes. El extracto metanólico de *Boerhavia coccinea* mostró la actividad antioxidante más potente en el ensayo DPPH, con un IC₅₀ de 16.39 ± 0.7 µg/mL. Otros extractos con actividad antioxidante significativa fueron el metanólico de *Combretum indicum* (IC₅₀ = 63.1 ± 2.5 µg/mL). Los extractos

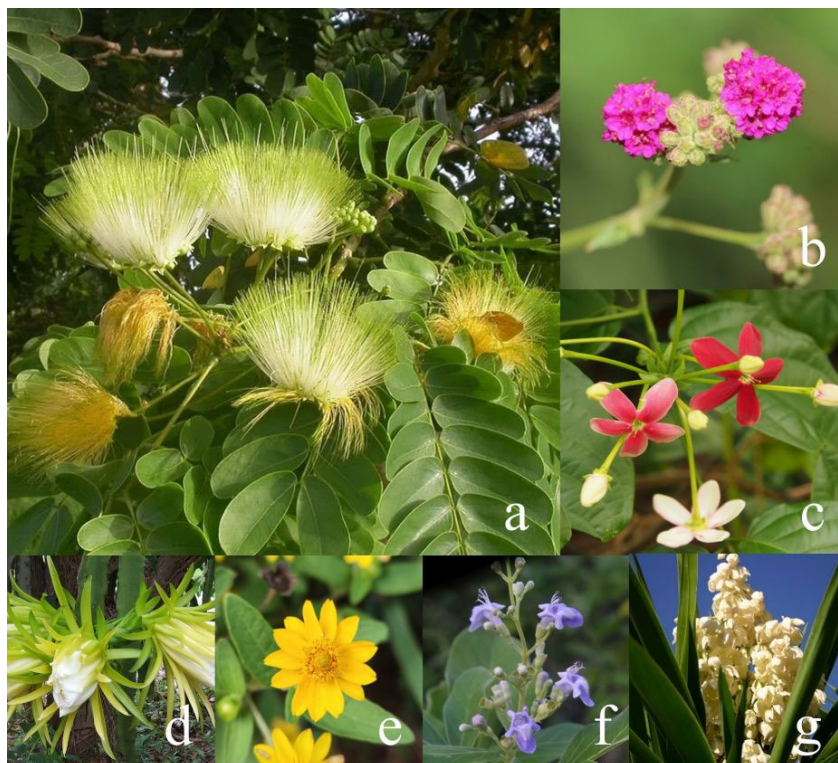


Figura 1. Especies florales silvestres recolectadas en el norte del estado de Sinaloa, México: (a) *Albizia lebeck*, (b) *Boerhavia coccinea*, (c) *Combretum indicum*, (d) *Hylocereus undatus*, (e) *Melampodium divaricatum*, (f) *Vitex trifolia* y (g) *Yucca schidigera* Fotografías: Nabile López (a-c), Carolina Soto (d-e) y Alistandry Torres (f-g)

Tabla 2. Rendimiento de extracción con metanol y acetato de etilo

Especie	Nombre común	Solvente	Rendimiento (%)
<i>Albizia lebeck</i>	Acacia amarilla	Metanol	9,94
		Acetato de etilo	2,97
<i>Boerhavia coccinea</i>	Abrojo rojo	Metanol	6,71
		Acetato de etilo	6,57
<i>Combretum indicum</i>	Piscuala	Metanol	5,47
		Acetato de etilo	2,6
<i>Hylocereus undatus</i>	Pitahaya	Metanol	7,21
		Acetato de etilo	1,35
<i>Melampodium divaricatum</i>	Acahual amarillo	Metanol	7,7
		Acetato de etilo	4,94
<i>Vitex trifolia</i>	Lila árabe	Metanol	10,62
		Acetato de etilo	3,52
<i>Yucca schidigera</i>	Yuca	Metanol	23,27
		Acetato de etilo	1,66

Tabla 3. Contenido de fenoles totales en extractos de flores silvestres del norte de Sinaloa

Especie	Solvente	Fenoles totales (mg EAG/g)
<i>Albizia lebbbeck</i>	Metanol	52.17 ± 0.25
	Acetato de etilo	34.74 ± 1.52
<i>Boerhavia coccinea</i>	Metanol	326.6 ± 1.67
	Acetato de etilo	3.47 ± 0.26
<i>Combretum indicum</i>	Metanol	208.5 ± 9.13
	Acetato de etilo	109.9 ± 10.6
<i>Hylocereus undatus</i>	Metanol	48.42 ± 52.6
	Acetato de etilo	128.6 ± 12.1
<i>Melampodium divaricatum</i>	Metanol	27.38 ± 2.06
	Acetato de etilo	10.11 ± 2.10
<i>Vitex trifolia</i>	Metanol	96.80 ± 4.30
	Acetato de etilo	164.5 ± 3.76
<i>Yucca schidigera</i>	Metanol	13.63 ± 2.10
	Acetato de etilo	27.70 ± 2.06

Los valores representan media ± desviación estándar (n=6)

de *Yucca schidigera* y *Melampodium divaricatum* mostraron las actividades antioxidantes más bajas.

Se observó una correlación inversa fuerte y estadísticamente significativa entre el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante DPPH en los extractos metanólicos, al analizarse mediante la correlación por rangos de Spearman ($\rho = -1.00$, $p < 0.01$), lo que indica que un mayor contenido fenólico se asocia consistentemente con valores menores de IC₅₀ y, por tanto, con una mayor potencia antioxidante.

Actividad Antimicrobiana

La actividad antimicrobiana de los extractos metanólicos y de acetato de etilo de las flores silvestres evaluadas fue determinada mediante la técnica de difusión en pozo frente a *Escherichia coli* ATCC 25922, *Escherichia coli* EAEC, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus aureus* MRSA y *Salmonella Typhimurium*. Ninguno de los extractos metanólicos presentó actividad inhibitoria frente a las cepas bacterianas evaluadas.

En los extractos obtenidos con acetato de

Tabla 4. Actividad antioxidante de extractos de flores silvestres evaluada mediante ensayos DPPH y ABTS

Especie	Solvente	IC ₅₀ DPPH (µg/mL)	IC ₅₀ ABTS (µg/mL)
<i>Albizia lebbbeck</i>	Metanol	260.2 ± 15.6	881.7 ± 52.9
	Acetato de etilo	>10 000	>10 000
<i>Boerhavia coccinea</i>	Metanol	16.4 ± 0.7	75.10 ± 3.0
	Acetato de etilo	>10 000	>10 000
<i>Combretum indicum</i>	Metanol	63.1 ± 2.5	92.86 ± 3.7
	Acetato de etilo	111.9 ± 6.7	594.07 ± 35.6
<i>Hylocereus undatus</i>	Metanol	487.2 ± 29.2	4 904.94 ± 563.9
	Acetato de etilo	67.7 ± 2.3	>10 000
<i>Melampodium divaricatum</i>	Metanol	1 985.2 ± 174.2	>10 000
	Acetato de etilo	640.0 ± 38.4	>10 000
<i>Vitex trifolia</i>	Metanol	153.0 ± 9.2	>10 000
	Acetato de etilo	158.2 ± 9.5	4 616.16 ± 328.0
<i>Yucca schidigera</i>	Metanol	2 286.1 ± 196.3	>10 000
	Acetato de etilo	1 561.4 ± 112.6	>10 000
TROLOX		-	8.12 ± 0.45
Ácido ascórbico		34.25 ± 2.1	-

Los valores de IC₅₀ representan la concentración que inhibe el 50% del radical. Los valores representan media ± desviación estándar (n=6)

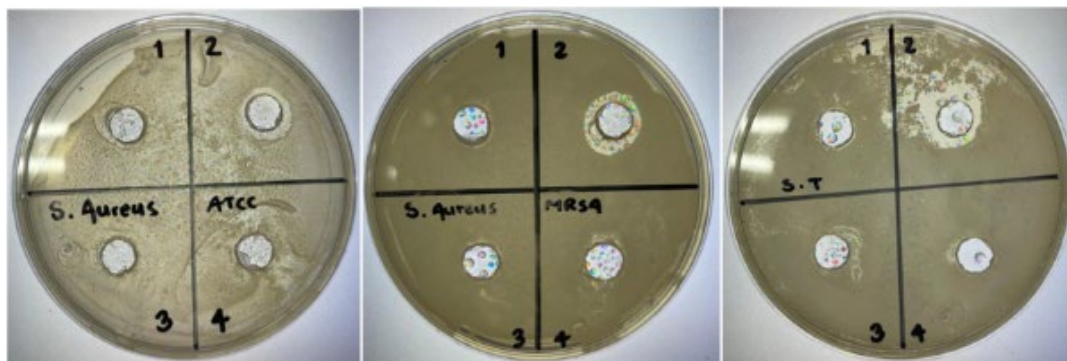


Figura 2. Actividad antimicrobiana de los extractos florales obtenidos con acetato de etilo evaluada mediante el método de difusión en pozo de agar. Se muestran las zonas de inhibición observadas frente a (A) *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, (B) *Staphylococcus aureus* MRSA y (C) *Salmonella* Typhimurium. Los tratamientos corresponden a: control negativo (acetato de etilo, 1), extracto de *Vitex trifolia* (2), extracto de *Melampodium divaricatum* (3) y extracto de *Yucca schidigera* (4). La imagen (D) corresponde al control positivo con amikacina (30 µg/pozo), evaluado por triplicado (5). Las placas fueron incubadas durante 24 h a 37 °C

etilo, únicamente *Vitex trifolia* produjo halos de inhibición detectables mediante el ensayo de difusión en pozo, observándose actividad frente a *S. aureus* ATCC 25923, *S. aureus* MRSA y *S. Typhimurium*. (Figura 2). Los halos de inhibición fueron de 10.13 ± 0.15 mm, 14.27 ± 0.64 mm y 14.63 ± 0.47 mm, respectivamente. En contraste, no se observó inhibición frente a las cepas de *E. coli* ATCC y *E. coli* EAEC (Figura 2).

Los extractos de las demás especies evaluadas no presentaron actividad antimicrobiana detectable y mostraron un comportamiento similar al control negativo (acetato de etilo), el cual no produjo halos de inhibición. Por su parte, la amikacina utilizada como control positivo produjo halos de inhibición de entre 20 y 25 mm, con un promedio de 22.50 ± 2.50 mm.

Ensayo de concentración mínima inhibitoria (CMI)

A través del método de microdilución en caldo se determinó la concentración mínima inhibitoria (CMI) de catorce tratamientos correspondientes a los extractos metanólicos y en acetato de etilo de siete especies vegetales (Tabla 5). Se evaluó un gradiente de concentraciones a partir de una dosis inicial de 4 mg/mL. Los resultados

mostraron que la actividad inhibitoria dependió de la especie vegetal, el solvente de extracción y la cepa bacteriana ensayada. La concentración mínima inhibitoria observada para todos los tratamientos activos fue de 4 mg/mL, mientras que las diluciones inferiores no impidieron el crecimiento visible de las bacterias. Respecto a las bacterias Gram-negativas, únicamente el extracto en acetato de etilo de *Albizia lebbbeck* presentó actividad inhibitoria, con una CMI de 4 mg/mL frente a los aislados clínicos *Escherichia coli* EAEC y *Salmonella Typhimurium*. En las bacterias Gram-positivas, los extractos en acetato de etilo de *Albizia lebbbeck* y *Vitex trifolia*, así como los extractos metanólicos de *Boerhavia coccinea* y *Combretum indicum*, presentaron una CMI de 4 mg/mL frente a la cepa de referencia *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 y el aislado clínico *S. aureus* MRSA. Adicionalmente, el extracto en acetato de etilo de *Melampodium divaricatum* inhibió únicamente el crecimiento del aislado clínico MRSA a una concentración de 4 mg/mL. Finalmente, los extractos de *Hylocereus undatus* y *Yucca schidigera* no mostraron actividad antimicrobiana detectable frente a ninguna de las cepas bacterianas evaluadas.

Tabla 5. Concentración mínima inhibitoria (CMI) de extractos florales frente a cepas bacterianas

Especie vegetal	Solvente	<i>E. coli</i> ATCC 25922	<i>E. coli</i> EAEC	<i>Salmonella</i> <i>Typhimurium</i>	<i>S. aureus</i> ATCC 25923	<i>S. aureus</i> MRSA
<i>Albizia lebbbeck</i>	Metanol	—	—	—	—	—
	Acetato de etilo	—	4 mg/mL	4 mg/mL	4 mg/mL	4 mg/mL
<i>Boerhavia coccinea</i>	Metanol	—	—	—	4 mg/mL	4 mg/mL
	Acetato de etilo	—	—	—	—	—
<i>Combretum indicum</i>	Metanol	—	—	—	4 mg/mL	4 mg/mL
	Acetato de etilo	—	—	—	—	—
<i>Hylocereus undatus</i>	Metanol	—	—	—	—	—
	Acetato de etilo	—	—	—	—	—
<i>Melampodium divaricatum</i>	Metanol	—	—	—	—	—
	Acetato de etilo	—	—	—	—	4 mg/mL
<i>Vitex trifolia</i>	Metanol	—	—	—	—	—
	Acetato de etilo	—	—	—	4 mg/mL	4 mg/mL
<i>Yucca schidigera</i>	Metanol	—	—	—	—	—
	Acetato de etilo	—	—	—	—	—

(—) indica ausencia de inhibición completa del crecimiento bacteriano en el intervalo de concentraciones evaluado (≤ 4 mg/mL)

Actividad Protectora contra Hemólisis Oxidativa

Los valores de IC₅₀ obtenidos para los extractos de flores silvestres frente a la hemólisis de eritrocitos inducida por el radical AAPH evidencian una marcada variabilidad entre especies y solventes (Tabla 6). El IC₅₀ representa la concentración necesaria para inhibir el 50% de la hemólisis, por lo que valores más bajos indican una mayor capacidad protectora.

El extracto en acetato de etilo de *Combretum indicum* presentó el menor IC₅₀ entre los extractos evaluados (24.42 ± 0.8 µg/mL), lo que indica una elevada capacidad protectora frente al daño oxidativo de la membrana eritrocitaria. Por el contrario, especies como *Vitex trifolia* (983.79 ± 68.9 µg/mL, metanol) y *Yucca schidigera* (1457.79 ± 119.2 µg/mL, metanol) exhibieron valores elevados de IC₅₀, reflejando una menor eficacia en la protección contra la hemólisis. En

varios casos, los valores calculados resultaron inválidos (marcados con “—”), ya que sobrepasaron el control negativo, lo que impide una interpretación confiable de la actividad.

Estos resultados correlacionan positivamente con el contenido fenólico y la actividad antioxidante DPPH ($r = 0.72$, $p < 0.01$), sugiriendo que los compuestos fenólicos son los principales responsables de la protección contra el daño oxidativo en membranas celulares.

Análisis de correlación

El análisis de correlación de Spearman reveló asociaciones significativas entre el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante de los extractos. Se observó una correlación negativa fuerte entre el contenido fenólico y los valores de IC₅₀ obtenidos mediante los ensayos DPPH ($r = -0.893$, $p < 0.001$) y ABTS ($r = -0.745$, $p = 0.002$), indicando que los extractos con mayor

Tabla 6. Actividad protectora de extractos de flores silvestres contra hemólisis oxidativa inducida por AAPH en eritrocitos humanos

Especie	Solvente	IC ₅₀ AAPH (μg/mL)
<i>Albizia lebbbeck</i>	Metanol	211.4 ± 11.2
	Acetato de etilo	-
<i>Boerhavia coccinea</i>	Metanol	45.39 ± 2.1
	Acetato de etilo	-
<i>Combretum indicum</i>	Metanol	-
	Acetato de etilo	24.42 ± 0.8
<i>Hylocereus undatus</i>	Metanol	224.04 ± 13.4
	Acetato de etilo	-
<i>Melampodium divaricatum</i>	Metanol	108.18 ± 4.9
	Acetato de etilo	-
<i>Vitex trifolia</i>	Metanol	983.79 ± 68.9
	Acetato de etilo	-
<i>Yucca schidigera</i>	Metanol	1457.79 ± 119.2
	Acetato de etilo	125.53 ± 7.4
Ácido ascórbico		234.03 ± 18.1

(-) valor de IC₅₀ es inválido. Los valores representan media ± desviación estándar

(n=6)

concentración de compuestos fenólicos presentaron una mayor capacidad antioxidante. Asimismo, los valores de IC₅₀ determinados mediante

DPPH y ABTS mostraron una correlación positiva significativa ($r = 0.702$, $p = 0.005$). En contraste, el rendimiento de extracción no presentó correlaciones significativas con el contenido fenólico ni con la actividad antioxidante ($p > 0.05$). Los patrones de asociación entre variables se muestran en la Figura 3 y los coeficientes de correlación y sus respectivos niveles de significancia se presentan en la Tabla 7.

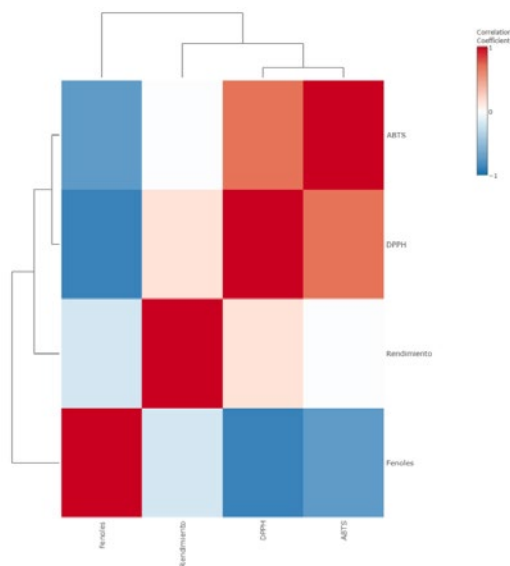


Figura 3. Mapa de calor (heatmap) de correlaciones de Spearman entre el rendimiento de extracción, el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante determinada mediante los ensayos DPPH y ABTS. Los coeficientes de correlación se representan mediante una escala de color, donde los valores negativos indican correlaciones inversas y los positivos correlaciones directas. Los análisis se realizaron con MetaboAnalyst 6.0

Tabla 7. Coeficientes de correlación de Spearman (r) y valores de significancia (p) entre el rendimiento de extracción, el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante determinada mediante los ensayos DPPH y ABTS

Variables	r	p
Fenoles vs DPPH	-0.893	<0.001
Fenoles vs ABTS	-0.745	0.002
DPPH vs ABTS	0.702	0.005
Rendimiento vs Fenoles	-0.204	0.483
Rendimiento vs DPPH	0.152	0.604
Rendimiento vs ABTS	-0.015	0.96

DISCUSIÓN

Rendimiento de Extracción y Contenido Fenólico

La variación observada en los rendimientos de extracción (1.35–23.27%) concuerda con reportes previos en matrices florales (Rassem *et al.*, 2024), donde factores como la especie, el solvente empleado y la metodología de extracción influyen significativamente en la recuperación de metabolitos vegetales. El máximo rendimiento del extracto en metanol de *Y. schidigera* (23.27%) puede atribuirse a la presencia de saponinas esteroidales, y otros polifenoles polares característicos del género que son altamente solubles en metanol (Morales-Figueroa *et al.*, 2022). Sin embargo, *Y. schidigera* presentó bajo contenido de compuestos fenólicos y una pobre actividad biológica, probablemente debido a la coextracción de metabolitos polares distintos de los compuestos fenólicos, incluidos carbohidratos solubles y otros constituyentes hidrofílicos característicos de la especie. En estudios previos con *Y. schidigera* y *Y. aloifolia* se ha reportado rendimientos con metanol del 15-25%, confirmando la eficiencia de este solvente para estas especies (Sobia *et al.*, 2013).

El contenido de fenoles totales mostró una variabilidad considerable entre especies, reflejando diferencias en sus perfiles fitoquímicos. Los valores más altos se observaron en *B. coccinea* (326.60±1.67 mg EAG/g en metanol), comparables con especies reconocidas por su alto contenido fenólico como *Arthrocnemum indicum* (303.67 mg EAG/g) (Hajlaoui *et al.*, 2022) y *Pancratium maritimum* (296.89 mg EAG/g) (Sait Ertuğrul *et al.*, 2025). Estos contenidos fenólicos elevados podrían estar relacionados con mecanismos de respuesta al estrés abiótico descritos para numerosas especies vegetales, donde los compuestos fenólicos participan en procesos de fotoprotección y defensa antioxidante. La acumulación elevada de compuestos fenólicos en *B. coccinea* actúa presumiblemente como un meca-

nismo de fotoprotección y defensa contra la radiación UV y el estrés térmico locales, para evitar que las especies reactivas al oxígeno, destruyan las membranas celulares, las proteínas funcionales y el ADN de la planta (Šamec *et al.*, 2021).

La diferencia en el contenido fenólico entre los extractos evaluados refleja la selectividad de los solventes hacia distintas clases de compuestos fenólicos. Debido a su mayor polaridad, el metanol extrae con mayor eficiencia flavonoides glicosilados, ácidos fenólicos y taninos hidrolizables, mientras que el acetato de etilo favorece compuestos de polaridad intermedia (Travis *et al.*, 2026). El predominio de fenoles en los extractos metanólicos sugiere que el perfil polifenólico de las especies evaluadas está dominado por estructuras glicosiladas de carácter más hidrofílico.

Capacidad Antioxidante

La notable capacidad antioxidante medida mediante el secuestro del radical DPPH• de *B. coccinea* (IC₅₀ = 16.4±0.7 µg/mL) se encuentra en el mismo orden de magnitud que la reportada para especies reconocidas por su potencial antioxidante, como *Psephellus huber-morathii* (IC₅₀ = 13.9 µg/mL) (Akman *et al.*, 2024), y supera la observada en *Chrysanthemum indicum* (IC₅₀ = 77.19 µg/mL) (Abalkhail *et al.*, 2025), lo que evidencia el elevado potencial antioxidante de esta especie silvestre. Si bien la correlación global entre el contenido de fenoles totales y la actividad captadora de radicales DPPH• fue moderada (r = 0.68), al analizar exclusivamente los extractos metanólicos se observó una asociación monótonica inversa perfecta (p = -1.00; p < 0.01). Esta diferencia sugiere que la relación entre ambas variables puede verse afectada por la naturaleza del solvente y la presencia de compuestos reductores distintos de los polifenoles. En este sentido, el reactivo de Folin-Ciocalteu puede sobreestimar el contenido fenólico al reaccionar con otras sustancias reductoras presen-

tes en los extractos (Himri *et al.*, 2025), lo que podría explicar la menor concordancia observada al considerar conjuntamente extractos obtenidos con diferentes solventes.

Aunque no se realizó la identificación individual de los compuestos fenólicos presentes en los extractos, la literatura indica que la actividad antioxidante de estos metabolitos está fuertemente influenciada por sus relaciones estructura-actividad (SAR).

La capacidad de donación de hidrógeno (H^+) no depende únicamente del número de grupos hidroxilo, sino también de su disposición espacial. Estructuras que contienen un sistema orto-dihidroxilo (grupo catecol) en el anillo B, como la quercetina o el ácido clorogénico, estabilizan el radical fenoxilo generado mediante deslocalización electrónica por resonancia y la formación de puentes de hidrógeno intramoleculares (Wojtunik-Kulesza *et al.*, 2020). Por el contrario, la ausencia de este motivo estructural en flavonoides con un anillo B monohidroxilado, como el kaempferol, o la presencia de impedimentos estéricos derivados de la glicosilación en la posición C-3, disminuyen la constante de velocidad de reacción (k) y la afinidad cinética de los polifenoles por los radicales libres. Esto podría explicar por qué algunos extractos con contenidos fenólicos moderados exhiben valores bajos de IC_{50} cuando contienen compuestos con características estructurales particularmente favorables para la neutralización de radicales (Stachelska *et al.*, 2025).

La discrepancia observada entre los valores de IC_{50} en los ensayos DPPH y ABTS puede explicarse por las diferencias en los mecanismos de reacción y las condiciones experimentales. El radical DPPH• es un radical nitrógeno-centrado estable que reacciona principalmente mediante transferencia de átomos de hidrógeno (HAT), mientras que el catión radical ABTS•+ puede reaccionar tanto por HAT como por transferencia de electrones (SET). Algunos compuestos fenólicos, particularmente aquellos con sistemas de conjugación extendidos, pueden ser más eficien-

tes en reacciones SET, lo que podría explicar su mayor actividad en el ensayo ABTS. Además, el DPPH• es soluble en solventes orgánicos y puede acceder mejor a compuestos lipofílicos, mientras que el ABTS•+ es soluble en medios acuosos y orgánicos, permitiendo evaluar tanto antioxidantes hidrofílicos como lipofílicos (Apak *et al.*, 2016).

Potencial Antimicrobiano

En los últimos años ha resurgido un notable interés científico por la búsqueda de metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana a partir de órganos florales, impulsado por la necesidad urgente de desarrollar alternativas frente a la creciente resistencia bacteriana (Coyago-Cruz *et al.*, 2024). Aunque históricamente la investigación fitoquímica se ha concentrado en hojas, cortezas y raíces, las flores constituyen estructuras altamente especializadas que acumulan diversos metabolitos secundarios involucrados en mecanismos de defensa contra microorganismos fitopatógenos y otros agentes ambientales (Breda *et al.*, 2025; Mohanasundaram & Saral, 2023).

En el presente estudio se evaluaron extractos florales obtenidos mediante metanol y acetato de etilo frente a cinco bacterias de importancia clínica y alimentaria, incluyendo cepas Gram-positivas (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923 y *S. aureus* resistente a meticilina, SARM) y Gram-negativas (*Escherichia coli* ATCC 25922, *E. coli* EAEC y *Salmonella Typhimurium*) (Kobayashi *et al.*, 2021; Perez-Sepulveda & Hinton, 2025; Tong *et al.*, 2025).

En el ensayo con el método de difusión en pozo de agar, el extracto de acetato de etilo de *Vitex trifolia* mostró actividad frente a *S. aureus* ATCC 25923, *S. aureus* SARM y *S. Typhimurium*, con halos de inhibición comprendidos entre 10.13 ± 0.15 y 14.63 ± 0.47 mm, considerados dentro del rango de una actividad antimicrobiana moderada (Sreepian *et al.*, 2023). Estos resultados coinciden con reportes previos que describen el potencial antibacteriano de esta especie (Mot-

taghipisheh *et al.*, 2024; Nancy *et al.*, 2014). De manera similar, Zulkifli *et al.* (2021) observaron que extractos metanólicos de raíces, tallos y hojas de *V. trifolia* inhibieron el crecimiento de *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae*, siendo *S. aureus* la bacteria más susceptible. Es importante destacar que la actividad observada no dependió exclusivamente de la clasificación Gram-positiva o Gram-negativa de las bacterias evaluadas. Mientras que el extracto fue capaz de inhibir el crecimiento de *S. Typhimurium*, no presentó actividad frente a *E. coli* ATCC 25922 ni *E. coli* EAEC. Estas diferencias podrían estar relacionadas con variaciones estructurales de la envoltura celular bacteriana, mecanismos específicos de resistencia o diferencias en la permeabilidad a los compuestos presentes en el extracto vegetal (Xie *et al.*, 2025).

Con respecto a la detección de la actividad antimicrobiana determinada mediante el ensayo de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI), se obtuvieron resultados positivos con los extractos de *Albizia lebbbeck*, *Melampodium divaricatum*, *Boerhavia coccinea*, *Combretum indicum*, así como para el extracto de *Vitex trifolia*. En todos los casos el resultado obtenido fue de 4 mg/mL, representando la concentración máxima analizada en el diseño experimental. Estas diferencias con respecto al método de difusión en agar, confirman que los métodos son fundamentalmente diferentes, siendo el ensayo de CMI considerablemente más sensible debido a sus principios fisicoquímicos. Mientras que la difusión en agar depende de la capacidad de los compuestos para migrar a través de la matriz sólida, proceso influenciado por su polaridad, tamaño molecular y coeficiente de difusión, los ensayos de microdilución permiten un contacto directo y homogéneo entre los extractos y los microorganismos, incrementando la sensibilidad para detectar actividad antimicrobiana en mezclas complejas (Balouiri *et al.*, 2016; Hulankova, 2024). De acuerdo con criterios metodológicos establecidos, el método de

dilución es la herramienta idónea para determinar la potencia relativa de extractos complejos y establecer su espectro de acción antimicrobiana.

La actividad antimicrobiana observada para *Boerhavia coccinea* coincide con los antecedentes reportados para esta especie. Por ejemplo, Osuna *et al.* (2005) señalaron que los extractos hexánicos de tallos de *B. coccinea* inhiben a diversas bacterias entéricas patógenas, incluyendo *Escherichia coli*, *Salmonella Typhi*, *Salmonella Typhimurium*, *Proteus mirabilis* y *Shigella sonnei*, con valores de CMI de entre < 2 y 8 mg/mL. De manera particular, estos autores registraron una CMI de 4 mg/mL frente a *Salmonella Typhimurium* ATCC 14028, un valor igual al obtenido en este trabajo. A pesar de las diferencias en el órgano vegetal, el solvente de extracción y las cepas evaluadas, ambos estudios respaldan sólidamente la presencia de metabolitos con propiedades antimicrobianas en esta planta.

En el caso de *Melampodium divaricatum*, su efecto también se ha documentado previamente en la literatura. Duarte-Moreira *et al.* (2014) evaluaron el aceite esencial de sus partes aéreas mediante microdilución y detectaron actividad inhibitoria contra especies de *Streptococcus* y *Lactobacillus*. En ese trabajo, los autores sugirieron que el efecto antibacteriano se debe a la acción conjunta de múltiples constituyentes del aceite, más que a un solo compuesto mayoritario. Aunque en nuestro diseño empleamos extractos florales obtenidos con solventes orgánicos y evaluamos microorganismos diferentes, ambos trabajos sugieren el potencial biológico de *M. divaricatum*.

La información disponible sobre la actividad antimicrobiana de *Combretum indicum* continúa siendo limitada. No obstante, estudios previos realizados con extractos florales obtenidos mediante metanol, etanol y agua han reportado actividad inhibitoria frente a bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, incluyendo *Staphylococcus aureus* y *Salmonella Typhimurium*, utilizando ensayos de difusión en agar (Kumar, 2015).

Sin embargo, dichos autores no determinaron valores de concentración mínima inhibitoria (CMI), lo que dificulta realizar una comparación directa de la potencia antimicrobiana de los extractos. Asimismo, las diferencias observadas respecto al presente estudio podrían atribuirse al empleo de solventes distintos durante la extracción, ya que la polaridad del solvente influye en el perfil de metabolitos recuperados y, por consiguiente, en la actividad biológica observada. No obstante, a pesar de las diferencias metodológicas, ambos estudios coinciden en señalar a *C. indicum* como una fuente potencial de compuestos con actividad antimicrobiana.

De *Albizia lebbbeck*, se han reportado efectos antibacterianos en extractos obtenidos de otros órganos vegetales de esta especie. Por ejemplo, extractos foliares obtenidos con acetato de etilo mostraron actividad frente a bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, incluyendo *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* (Rahul *et al.*, 2010). Estos antecedentes respaldan la actividad observada en el presente estudio y sugieren que la especie posee metabolitos con amplio espectro antibacteriano, independientemente del órgano vegetal evaluado.

Actividad Protectora contra Hemólisis Oxidativa

Los resultados del ensayo de protección contra hemólisis oxidativa inducida por AAPH• revelan una marcada heterogeneidad en la capacidad antioxidante de los extractos evaluados (Tabla 6). El extracto en acetato de etilo de *Combretum indicum* exhibió la mayor actividad protectora ($IC_{50} = 24.42 \pm 0.8 \mu\text{g/mL}$), seguido por el extracto metanólico de *Boerhavia coccinea* ($IC_{50} = 45.39 \pm 2.1 \mu\text{g/mL}$), valores que indican una capacidad antioxidante significativa comparable con estándares sintéticos. De acuerdo con la hipótesis de la “interfase”, los antioxidantes efectivos en sistemas biológicos deben poseer una polaridad intermedia (como las posibles agliconas flavonoides presentes en el acetato de etilo) para

orientarse correctamente en la interfase agua-lípido de la membrana eritrocitaria, interceptando los radicales peroxilo ($ROO\bullet$) antes de que inicien la cascada de peroxidación lipídica de los fosfolípidos (Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

Los extractos metanólicos de *Melampodium divaricatum* ($IC_{50} = 108.18 \pm 4.9 \mu\text{g/mL}$), *Albizia lebbbeck* ($IC_{50} = 211.40 \pm 11.2 \mu\text{g/mL}$) e *Hylocereus undatus* ($IC_{50} = 224.04 \pm 13.4 \mu\text{g/mL}$) mostraron actividad de alta a moderada, consistente con su contenido reportado de glucósidos flavonoides y betacianinas (Tenore *et al.*, 2012; Wybraniec & Mizrahi, 2002). En contraste, *Vitex trifolia* ($IC_{50} = 983.79 \pm 68.9 \mu\text{g/mL}$) y *Yucca schidigera* ($IC_{50} = 1457.79 \pm 119.2 \mu\text{g/mL}$) presentaron baja capacidad protectora en sus extractos metanólicos.

Un hallazgo relevante fue la diferencia en eficacia de los extractos obtenidos con distintos solventes: los extractos en acetato de etilo mostraron valores de IC_{50} significativamente menores (promedio: $74.97 \mu\text{g/mL}$) comparados con los metanólicos (promedio: $505.10 \mu\text{g/mL}$). Esto sugiere que, compuestos de polaridad intermedia, como agliconas flavonoides y cumarinas, son más efectivos en la protección de membranas lipídicas contra la peroxidación (Tang *et al.*, 2025).

La obtención de valores inválidos en seis extractos (42.9%) podría estar relacionada con fenómenos de comportamiento prooxidante o con interferencias metodológicas, aspectos que requieren estudios adicionales para ser confirmados. En presencia de trazas de metales de transición internos de la matriz celular (Fe^{3+} o Cu^{2+}), ciertos polifenoles (especialmente aquellos con estructuras orto-dihidroxilo o concentraciones locales elevadas) reducen los metales a Fe^{2+} o Cu^{+} . Esto desencadena la reacción de Fenton, acelerando la generación de radicales hidroxilo ($\bullet OH$), los cuales exacerban la lisis celular en lugar de prevenirla (Eghbaliheriz & Iranshahi, 2016).

Integración Sistémica de Correlaciones: Un Enfoque Químico-Biológico

El análisis de correlación reveló asociaciones significativas entre las variables químicas y biológicas evaluadas. El contenido de fenoles totales mostró una correlación negativa fuerte con los valores de IC_{50} obtenidos en los ensayos DPPH ($r = -0.893$, $p < 0.001$) y ABTS ($r = -0.745$, $p = 0.002$), indicando que los extractos con mayor concentración de compuestos fenólicos presentaron una mayor capacidad antioxidante. Asimismo, los valores de IC_{50} determinados mediante DPPH y ABTS se correlacionaron positivamente ($r = 0.702$, $p = 0.005$), lo que evidencia una respuesta consistente entre ambos métodos antioxidantes y respalda su utilidad para evaluar la capacidad de neutralización de radicales libres mediante mecanismos complementarios (Apak et al., 2016). En contraste, el rendimiento de extracción no mostró correlaciones significativas con el contenido fenólico ni con las actividades antioxidantes ($p > 0.05$), sugiriendo que una mayor recuperación gravimétrica de extracto no necesariamente implica una mayor concentración de metabolitos bioactivos. En conjunto, estos resultados confirman el papel central de los compuestos fenólicos en la actividad antioxidante observada y sugieren que la composición fitoquímica de los extractos es un factor más determinante que el rendimiento de extracción.

Sin embargo, la actividad antioxidante no depende únicamente de la cantidad total de fenoles, sino también de su naturaleza química específica. Aun cuando en este estudio no se realizó la caracterización individual de los metabolitos presentes en los extractos, diversos estudios en flavonoides han demostrado que los grupos catecol en el anillo B (como la quercetina) presentan mayor capacidad antioxidante que aquellos con un solo grupo hidroxilo (como el kaempferol), debido a la mayor estabilidad del radical fenoxilo, formado tras la donación de hidrógeno (Navarro-Hoyos et al., 2026). Asimismo, factores como el grado de glicosilación y posibles efectos sinérgicos entre metabolitos secundarios pueden influir de manera significativa en la respuesta antioxidante

observada.

La correlación entre la actividad antioxidante y la protección contra hemólisis oxidativa ($r = 0.72$, $p < 0.01$) fue superior que la correlación con el contenido fenólico total, lo que sugiere que la capacidad de neutralizar radicales libres se traduce directamente en protección de membranas celulares contra el daño oxidativo. Este hallazgo tiene implicaciones importantes para aplicaciones biomédicas, ya que el daño oxidativo a membranas celulares es un evento temprano en la patogénesis de numerosas enfermedades crónicas (Wang et al., 2026). En este contexto, los extractos con mayor actividad protectora, particularmente *Boerhavia coccinea* y *Combretum indicum*, podrían tener potencial como agentes citoprotectores en formulaciones nutracéuticas o farmacéuticas.

La actividad antimicrobiana mostró correlaciones débiles con el contenido fenólico total ($r = 0.42$, $p > 0.05$), sugiriendo que la actividad antimicrobiana depende más de compuestos específicos que de la cantidad total de fenoles. Esto es consistente con estudios que han demostrado que ciertos flavonoides (como la galangina y la pinocembrina) y ácidos fenólicos (como el ácido gálico y el ácido protocatecuico) poseen actividad antimicrobiana potente, mientras que otros compuestos fenólicos son relativamente inactivos. Además, la actividad antimicrobiana puede depender de factores como la lipofilia de los compuestos, su capacidad de penetrar membranas bacterianas, y su estabilidad en el medio de cultivo (Chen et al., 2024).

Perspectiva Regional y Comparación Internacional

Este estudio representa la primera evaluación sistemática de las bioactividades de flores silvestres del norte de Sinaloa, contribuyendo al conocimiento de la biodiversidad fitoquímica regional. Los resultados demuestran que las especies florales sinaloenses poseen bioactividades comparables o superiores a especies estudiadas en otras

regiones del mundo. Por ejemplo, la actividad antioxidante de *B. coccinea* (IC_{50} DPPH = 16.4 ± 0.7 μ g/mL) supera a la de *Chrysanthemum indicum* de Arabia Saudita (Abalkhail *et al.*, 2025), y similar a *Psephellus huber-morathii* de Turquía (Akman *et al.*, 2024). Esto posiciona a las flores silvestres sinaloenses como fuentes prometedoras de antioxidantes naturales con potencial para competir en mercados internacionales.

Desde una perspectiva de conservación y uso sustentable, es importante destacar que varias de las especies estudiadas son abundantes y de rápido crecimiento, lo que facilitaría su cultivo o manejo sustentable para aprovechamiento comercial. *Boerhavia coccinea* es una herbácea ruderal común en áreas perturbadas, lo que sugiere su potencial para cultivo en sistemas agroecológicos de bajo insumo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que las flores silvestres del norte de Sinaloa, México, constituyen una fuente rica y diversa de metabolitos secundarios con bioactividades de interés farmacéutico y nutracéutico. Las diferencias observadas entre especies y solventes de extracción evidencian la influencia de la composición fitoquímica y de la polaridad del solvente en la recuperación de metabolitos con actividad biológica.

Entre los hallazgos más destacados, *Boerhavia coccinea* y *Combretum indicum* exhibieron elevados contenidos fenólicos y actividades antioxidantes consistentes, posicionándolas como candidatas prometedoras para el desarrollo de antioxidantes naturales. Asimismo, varios extractos mostraron actividad antimicrobiana moderada frente a patógenos de relevancia clínica, incluyendo cepas resistentes, lo que sugiere su potencial como fuentes de agentes antimicrobianos de origen vegetal. Las asociaciones observadas entre el contenido fenólico, la actividad antioxidante y la protección frente a hemólisis oxidativa respal-

dan el papel central de los compuestos fenólicos en las bioactividades observadas; no obstante, las correlaciones parciales sugieren que la actividad biológica depende no solo de la cantidad total de fenoles, sino también de su composición cualitativa, estructura molecular y posibles efectos sinérgicos entre metabolitos.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra el empleo de extractos crudos sin caracterización química individual. Por ello, futuras investigaciones deberán enfocarse en la caracterización fitoquímica detallada de los extractos más activos, y el estudio de los mecanismos moleculares involucrados. Asimismo, la validación de los efectos observados mediante estudios *in vivo* será indispensable para establecer perfiles de seguridad, biodisponibilidad y eficacia terapéutica.

En conjunto, los resultados obtenidos contribuyen a la valorización científica de la biodiversidad floral del norte de Sinaloa y resaltan el potencial de especies silvestres locales como recursos fitogenéticos de interés. *Boerhavia coccinea* y *Combretum indicum* emergen como las especies más prometedoras para estudios posteriores, y su aprovechamiento sustentable, mediante estrategias de manejo racional o cultivo, podría generar oportunidades de desarrollo económico local al tiempo que se promueve la conservación de la biodiversidad regional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto 23214.25-P.

APORTE DE LOS AUTORES

Obtención de datos: L. Castro, I. Monroy, S. Torres; conceptualización: L. Castro; Adquisición de fondos: I. Monroy; escritura, revisión y

edición: A. Martínez, S. Torres, I. Monroy.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abalkhail, T., Alkubaisi, N. A., Aziz, I. M., Alsayed, M. F., Alodaini, H. A., AL-Shenifi, A. S., & Farrag, M. A. (2025). Evaluation of the Antioxidant, Anticancer, and Antibacterial Activities of Flower and Leaf Extracts of *Chrysanthemum indicum*. *ChemistryOpen*, 14(10). <https://doi.org/10.1002/open.202500252>
- Akman, T. Ç., Şimşek, S., Akşit, Z., Aydın, A., & Yılmaz, M. A. (2024). Exploring the Potential of Psephellus huber-Marathi (Wagenitz) Wagenitz: A Comprehensive UHPLC-MS/MS Analysis of Phytochemical Composition and Evaluation of Antioxidant, Antimicrobial, and Antiproliferative Activities. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Der-gisi*, 27(4), 782–792. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.1339345>
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant Activity/Capacity Measurement. 1. Classification, Physicochemical Principles, Mechanisms, and Electron Transfer (ET)-Based Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5), 997–1027. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739>
- Atanasov, A. G., Zotchev, S. B., Dirsch, V. M., Orhan, I. E., Banach, M., Rollinger, J. M., Barrera, D., Weckwerth, W., Bauer, R., Bayer, E. A., Majeed, M., Bishayee, A., Bochkov, V., Bonn, G. K., Braidy, N., Bucar, F., Cifuentes, A., D'Onofrio, G., Bodkin, M., ... Supuran, C. T. (2021). Natural products in drug discovery: advances and opportunities. *Nature Reviews Drug Discovery*, 20(3), 200–216. <https://doi.org/10.1038/s41573-020-00114-z>
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
- Breda, C., Nascimento, A., Meghwar, P., Lisboa, H., Aires, A., Rosa, E., Ferreira, L., & Barros, A. N. (2025). Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Edible Flowers: Insights from Synergistic Effects and Multivariate Analysis. *Antioxidants*, 14(3), 282. <https://doi.org/10.3390/antiox14030282>
- Briones, E. R., Hernández, B. C. R., & Martínez, P. B. G. (2025). Bioeconomía desde la etnobotánica: plantas ancestrales moléculas actuales. In *Bioeconomía en Latinoamérica: desafíos para la sostenibilidad y el desarrollo*. (Vol. 3, pp. 108–134). Universidad de Guadalajara.
- Chen, X., Lan, W., & Xie, J. (2024). Natural phenolic compounds: Antimicrobial properties, antimicrobial mechanisms, and potential utilization in the preservation of aquatic products. *Food Chemistry*, 440, 138198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138198>
- China, R., Mukherjee, S., Sen, S., Bose, S., Datta, S., Koley, H., Ghosh, S., & Dhar, P. (2012). Antimicrobial activity of Sesbania grandiflora flower polyphenol extracts on some pathogenic bacteria and growth stimulatory effect on the probiotic organism Lactobacillus acidophilus. *Microbiological Research*, 167(8), 500–506. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2012.04.003>
- Coyago-Cruz, E., Alarcón, A., Guachamin, A., Méndez, G., Osorio, E., Heredia-Moya, J., Zuñiga-Miranda, J., Beltrán-Sinchiguano, E., & Vera, E. (2024). Functional, Antioxidant, Antibacterial, and Antifungal Activity of Edible Flowers. *Antioxidants*, 13(11), 1297. <https://doi.org/10.3390/antiox13111297>
- Duarte-Moreira, R. R., Zimmermann-Martins, G., Teixeira-Botelho, V., dos Santos, L. E., Cavaleiro, C., Salgueiro, L., Andrade, G., & Martins, C. H. G. (2014). Composition and Ac-

- tivity against Oral Pathogens of the Essential Oil of *Melampodium divaricatum* DC. *Chemistry & Biodiversity*, 11(3), 438–444. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201300322>
- Eghbaliferiz, S., & Iranshahi, M. (2016). Prooxidant Activity of Polyphenols, Flavonoids, Anthocyanins and Carotenoids: Updated Review of Mechanisms and Catalyzing Metals. *Phytotherapy Research*, 30(9), 1379–1391. <https://doi.org/10.1002/ptr.5643>
- El Mihaoui, A., Esteves da Silva, J. C. G., Charfi, S., Candela Castillo, M. E., Lamarti, A., & Arnao, M. B. (2022). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): A Review of Ethnomedicinal Use, Phytochemistry and Pharmacological Uses. *Life*, 12(4), 479. <https://doi.org/10.3390/life12040479>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2022). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, (100), 351–403. <https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40>
- Gonçalves, F., Gonçalves, J. C., Ferrão, A. C., Correia, P., & Guiné, R. P. F. (2020). Evaluation of phenolic compounds and antioxidant activity in some edible flowers. *Open Agriculture*, 5(1), 857–870. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0087>
- Hajlaoui, H., Arraouadi, S., Mighri, H., Ghanay, S., Aouadi, K., Adnan, M., Elsbali, A. M., Noumi, E., Snoussi, M., & Kadri, A. (2022). HPLC-MS Profiling, Antioxidant, Antimicrobial, Antidiabetic, and Cytotoxicity Activities of *Arthrocnemum indicum* (Willd.) Moq. Extracts. *Plants*, 11(2), 232. <https://doi.org/10.3390/plants11020232>
- Hemeg, H. A., Moussa, I. M., Ibrahim, S., Dawoud, T. M., Alhaji, J. H., Mubarak, A. S., Kabli, S. A., Alsubki, R. A., Tawfik, A. M., & Marouf, S. A. (2020). Antimicrobial effect of different herbal plant extracts against different microbial population. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3221–3227. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.015>
- Himri, C., Belkhir, C., Azizi, S. E., Loukili, E. H., Rahhou, I., Legssyer, M., & Legssyer, B. (2025). A Comparative Study of Phenolic Compounds, and the Antioxidant Properties of Arabica Coffee Beans (*Coffea arabica*) and Robusta Coffee Beans (*Coffea canephora*) and Their By-Products. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 9(8), 3568–3580. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v9i8.17>
- Hulankova, R. (2024). Methods for Determination of Antimicrobial Activity of Essential Oils In Vitro - A Review. *Plants*, 13(19), 2784. <https://doi.org/10.3390/plants13192784>
- Jadhavar, P., & Deshpande, S. (2022). Recent Updates On Medicinal Potentiality of Fabaceae Family: Critical Review. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 13(3). <https://doi.org/10.22376/Ijpbs.2022.13.3.b32-41>
- Karageçili, H. , & G. İ. (2025). The Lamiaceae family plants ethnobotanical properties, ethnopharmacological uses, phytochemical studies and their utilization in public or current clinical practices: A review. *Records of Natural Products*, 19(Special issue), 307–307. <https://doi.org/10.25135/rnp.540.2506.3573>
- Kobayashi, T., Ikeda, M., Okada, Y., Higurashi, Y., Okugawa, S., & Moriya, K. (2021). Clinical and Microbiological Characteristics of Recurrent *Escherichia coli* Bacteremia. *Microbiology Spectrum*, 9(3). <https://doi.org/10.1128/Spectrum.01399-21>
- Kumar, M. (2015). Antibacterial activity of *Combretum indicum* (L.) Defilippi flower extracts against gram-positive and gram-negative human pathogenic bacteria. In *1288 world journal of pharmacy and pharmaceutical sciences SJIF Impact Factor 5* (Vol. 4, Number 10). www.wjpps.com
- Liu, Y., Zhang, H., & Wei, S. (2015). Ultrasonic-assisted extraction of pigments from *Hylocereus undatus* flowers: optimization,

- antioxidant activity, and HPLC analysis. *RSC Advances*, 5(58), 46598–46607. <https://doi.org/10.1039/C5RA04089B>
- Mohanasundaram, P., & Saral, A. M. (2023). Phytochemical Screening, Antibacterial, Antifungal, Anti-Biofilm and Antioxidant Activity of *Azadiracta Indica* A. Juss. Flowers. *Chemistry & Biodiversity*, 20(3). <https://doi.org/10.1002/cbdv.202201049>
- Monroy-García, I. N., Carranza-Torres, I. E., Carranza-Rosales, P., Oyón-Ardoiz, M., García-Estévez, I., Ayala-Zavala, J. F., Morán-Martínez, J., & Viveros-Valdez, E. (2021). Phenolic Profiles and Biological Activities of Extracts from Edible Wild Fruits *Ehretia tinifolia* and *Sideroxylon lanuginosum*. *Foods*, 10(11), 2710. <https://doi.org/10.3390/foods10112710>
- Morales-Figueroa, G.-G., Pereo-Vega, G. D., Reyna-Murrieta, M. E., Pérez-Morales, R., López-Mata, M. A., Sánchez-Escalante, J. J., Tapia-Rodríguez, M. R., Ayala-Zavala, J. F., Juárez, J., & Quihui-Cota, L. (2022). Antibacterial and Antioxidant Properties of Extracts of *Yucca Baccata*, a Plant of Northwestern Mexico, against Pathogenic Bacteria. *BioMed Research International*, 2022(1). <https://doi.org/10.1155/2022/9158836>
- Mottaghipisheh, J., Kamali, M., Doustimotlagh, A. H., Nowroozzadeh, M. H., Rasekh, F., Hashempur, M. H., & Iraj, A. (2024). A comprehensive review of ethnomedicinal approaches, phytochemical analysis, and pharmacological potential of *Vitex trifolia* L. *Frontiers in Pharmacology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1322083>
- Nancy, R. M. I., Meenashree, B., & Vasanthi, V. J. (2014). Screening of Antibacterial Activity and Qualitative and Quantitative analysis of Phytochemicals in vitex trifolia. In *Int.J.Curr. Microbiol.App.Sci* (Vol. 3, Number 5). <http://www.ijcmas.com>
- Navarro-Hoyos, M., Bisoyi, R., KC, P., Lutz, N., & Ruksarash, M. (2026). Key Dietary Flavonoids: Insights into Their Structural Characteristics, Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities, and Potential as Neuroprotective Agents. *Molecules*, 31(1), 154. <https://doi.org/10.3390/molecules31010154>
- Osuna, L., Tapia-Pérez, M. E., Jiménez-Ferrer, J. E., Carrillo-Quiróz, B. A., & Silva-Sánchez, J. (2005). Screening of Alternanthera repens., Boerhavia coccinea., Flaveria trinervia., Tournefortia densiflora., and Vitex mollis. Extracts to Evaluate their Antibacterial Activity and Effect on Smooth Muscle. I. *Pharmaceutical Biology*, 43(9), 749–753. <https://doi.org/10.1080/13880200500406412>
- Patel, S. (2012). Yucca: A medicinally significant genus with manifold therapeutic attributes. *Natural Products and Bioprospecting*, 2(6), 231–234. <https://doi.org/10.1007/s13659-012-0090-4>
- Perez-Sepulveda, B. M., & Hinton, J. C. D. (2025). Microbe Profile: *Salmonella* Typhimurium: the master of the art of adaptation. *Microbiology*, 171(1). <https://doi.org/10.1099/mic.0.001521>
- Piegang, B. N., Ndjateu, F. S. T., Tene, M., Bomba, F. D. T., Tseuguem, P. P., & Nguelefack, T. B. (2021). Antinociceptive, anti-inflammatory and antioxidant effects of *Boerhavia coccinea* extracts and fractions on acute and persistent inflammatory pain models. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 32(1). <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2020-0118>
- Rahul, C., Pankaj, P., Sarwan, S. K., & Mahesh, J. K. (2010). Phytochemical screening and antimicrobial activity of *Albizia lebeck*. *J. Chem. Pharm. Res*, 2(5), 476–484.
- Rassem, H. H., Khamidun, M. H. B., A. U. F. M., Hadibarata, T., & Alrabie, N. A. (2024). Comprehensive analysis of antioxidant and antibacterial activities of water and methanol extracts of *Hibiscus* flower. *Journal of King Saud University - Science*, 36(11), 103506. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103506>

- doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103506
- Ray, R., & Ray, A. (2020). Medicinal practices of sacred natural site: a socio-religious approach for successful implementation of primary healthcare services. *Ethnobotany Research and Applications*, 20, 1–46.
- Rolnik, A., & Olas, B. (2021). The Plants of the Asteraceae Family as Agents in the Protection of Human Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 3009. <https://doi.org/10.3390/ijms22063009>
- Sait Ertuğrul, M., Balpınar, Ö., Can Aytar, E., Aydın, B., Incilay Torunoglu, E., Durmaz, A., & Rossato Viana, A. (2025). Antioxidant, Antimicrobial, Anticancer, and Molecular Docking Insights into *Pancreatium maritimum* Seeds and Flowers: A Phytochemical Approach. *ChemistryOpen*, 14(2). <https://doi.org/10.1002/open.202400407>
- Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V., & Salopek-Sondi, B. (2021). The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Response: The Influence of Molecular Structure. *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/plants10010118>
- Shahane, K., Kshirsagar, M., Tambe, S., Jain, D., Rout, S., Ferreira, M. K. M., Mali, S., Amin, P., Srivastav, P. P., Cruz, J., & Lima, R. R. (2023). An Updated Review on the Multifaceted Therapeutic Potential of *Calendula officinalis* L. *Pharmaceuticals*, 16(4), 611. <https://doi.org/10.3390/ph16040611>
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820–897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Sobia, M. Z., Rasool, N., Mansha, A., Anjum, F., Iqbal, M., Mushtaq, M., & Shahid, M. (2013). Antioxidant, antibacterial, antifungal activities and phytochemical analysis of dagger (*Yucca aloifolia*) leaves extracts. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(6), 243–249.
- Sreepian, P. M., Rattanasinganchan, P., & Sreepian, A. (2023). Antibacterial efficacy of *Citrus hystrix* (makrut lime) essential oil against clinical multidrug-resistant methicillin-resistant and methicillin-susceptible *Staphylococcus aureus* isolates. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 31(6), 1094–1103. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2023.03.020>
- Stachelska, M. A., Karpiński, P., & Kruszewski, B. (2025). A Comprehensive Review of Biological Properties of Flavonoids and Their Role in the Prevention of Metabolic, Cancer and Neurodegenerative Diseases. *Applied Sciences*, 15(19), 10840. <https://doi.org/10.3390/app151910840>
- Tang, S., Wang, B., Liu, X., Xi, W., Yue, Y., Tan, X., Bai, J., & Huang, L. (2025). Structural insights and biological activities of flavonoids: Implications for novel applications. *Food Frontiers*, 6(1), 218–247. <https://doi.org/10.1002/fft2.494>
- Tenore, G. C., Novellino, E., & Basile, A. (2012). Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.09.003>
- Tong, S. Y. C., Fowler, V. G., Skalla, L., & Holland, T. L. (2025). Management of *Staphylococcus aureus* Bacteremia: A Review. *JAMA*, 334(9), 798. <https://doi.org/10.1001/jama.2025.4288>
- Torres-Bojórquez, A. E., García-Rubio, O. R., Miranda-López, R., & Cardador-Martínez, A. (2017). Evaluación de la capacidad antioxidante, características fisicoquímicas y perfil sensorial de *Opuntia robusta* y *O. ficus-indica*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, Volumen 67(Número 4). <https://doi.org/10.37527/2017.67.4.006>
- Travis, C. R., McMaster, J., & Rivas, F. (2026). Advances in Natural Product Extraction: Established and Emerging Technologies. *Molecules*, 31(7), 1136. <https://doi.org/10.3390/molecules31071136>
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native

- vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3). <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Viveros-Valdez, E., Jaramillo-Mora, C., Oranday-Cardenas, A., Mordn-Martinez, J., & Carranza-Rosales, P. (2016). Antioxidant, cytotoxic and alpha-glucosidase inhibition activities from the Mexican berry “Anacahuita” (*Cordia boissieri*). *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 66(3), 211–218.
- Wang, J., Li, H., She, Y., Xu, C., Peng, K., & Ding, W. (2026). Research progress on the damage of lipid peroxidation to the body and its correlation with metabolic diseases. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2026.1793466>
- Wojtunik-Kulesza, K., Oniszczyk, A., Oniszczyk, T., Combrzyński, M., Nowakowska, D., & Matwiczuk, A. (2020). Influence of In Vitro Digestion on Composition, Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Food Polyphenols—A Non-Systematic Review. *Nutrients*, 12(5), 1401. <https://doi.org/10.3390/nu12051401>
- Wybraniec, S., & Mizrahi, Y. (2002). Fruit Flesh Betacyanin Pigments in *Hylocereus* Cacti. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 6086–6089. <https://doi.org/10.1021/jf020145k>
- Xie, Y., Lu, H., Liu, Y., Hu, G., Lian, S., Liu, J., Pang, S., Zhu, G., & Ding, X. (2025). Unveiling the Mechanisms of Bacterial Resistance and Countermeasures. *Pathogens*, 14(11), 1085. <https://doi.org/10.3390/pathogens14111085>
- Zaki, F. L. M. , & Wan Salleh, W. M. N. H. (2020). Essential Oils and Biological Activities of the Genus *Vitex* (Lamiaceae) – A Review. *Natural Volatiles and Essential Oils*, 7(2), 1–9. <https://doi.org/10.37929/nveo.743784>
- Zheng, C.-J., Li, H.-Q., Ren, S.-C., Xu, C.-L., Rahman, K., Qin, L.-P., & Sun, Y.-H. (2015). Phytochemical and Pharmacological Profile of *Vitex egundo*. *Phytotherapy Research*, 29(5), 633–647. <https://doi.org/10.1002/ptr.5303>
- Zulkifli, L., Basri, M. H., & Syukur, A. (2021). Antibacterial activity of *Vitex trifolia* methanol extract against pathogenic bacteria. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869(1), 012060. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012060>