

Fitoquímicos antioxidantes: el caso de *Jatropha dioica*, *Flourensia cernua*, *Larrea tridentata*, *Turnera diffusa* and *Euphorbia antisiphylitica*

Antioxidant phytochemicals: the case of *Jatropha dioica*, *Flourensia cernua*, *Larrea tridentata*, *Turnera diffusa* and *Euphorbia antisiphylitica*

Recibido: 30 de mayo 2024

Aceptado: 19 de junio de 2024

Nestor Everardo Aranda Ledesma

Laboratorio de Química y Bioquímica, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo 66054, Nuevo León, México
<https://orcid.org/0009-0005-4333-4769>

Romeo Rojas-Molina

Laboratorio de Química y Bioquímica, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo 66054, Nuevo León, México
<https://orcid.org/0000-0001-8947-6125>

Claudia Lizeth Robledo-Jiménez

Laboratorio de Química y Bioquímica, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo 66054, Nuevo León, México
Autor de correspondencia: guillermo.martinezavl@uanl.edu.mx

Guillermo Cristian Guadalupe Martínez Ávila*

Laboratorio de Química y Bioquímica, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo 66054, Nuevo León, México
<https://orcid.org/0000-0001-7276-8156>

RESUMEN

Dentro de las diversas especies forestales que se albergan dentro de la región norte del semi-desierto mexicano se pueden destacar *Jatropha dioica*, *Flourensia cernua*, *Larrea tridentata*, *Turnera diffusa*, y *Euphorbia antisiphylitica*. Estas especies han demostrado poseer compuestos bioactivos principalmente de naturaleza polifenólica con potencial para el desarrollo de terapias médicas, así como el control de fitopatógenos. Lo cual se une a la demanda de la sociedad actual por la búsqueda de compuestos antioxidantes de origen natural que permitan reducir el uso de compuestos sintéticos que presentan diversos efectos secundarios negativos para la salud humana y el medio ambiente. El objetivo de la presente revisión consistió en recapitular la información de mayor relevancia durante los meses junio y julio 2024 en instalaciones de la Facultad de Agronomía UANL, Monterrey, Nuevo León sobre la presencia de fitoquímicos en especies del semi-desierto mexicano y sus posibles aplicaciones. La información fue obtenida a partir bases de datos de impacto internacional, haciendo énfasis en el potencial antioxidante de los compuestos fitoquímicos presentes en estas especies y las posibles aplicaciones derivadas de dicho potencial. Los resultados obtenidos sugieren que dentro del semi-desierto mexicano se encuentran especies con compuestos fitoquímicos de valor agregado, cuyo potencial biológico ha sido demostrado ampliamente por diferentes estudios por lo que su explotación puede contribuir a la innovación y desarrollo dentro de la industria farmacéutica como agentes citotóxicos y neuro protectores y agrobiotecnológica para el control de fitopatógenos y como ingrediente activo en alimentos funcionales, siendo los compuestos de tipo flavonoide y terpenos los de mayor relevancia dentro de la composición química de estas especies.

Palabras clave: antioxidantes, fitoquímicos, plantas del semi-desierto, métodos de extracción

ABSTRACT

Among the diverse forest species found in the in the northern region of Mexican semi-desert, notable examples include *Jatropha dioica*, *Flourensia cernua*, *Larrea tridentata*, *Turnera diffusa*, and *Euphorbia antisiphylitica*. These species have been shown to contain bioactive compounds, primarily polyphenolic in nature, with potential for medical therapy development and phytopathogen control. This aligns with current societal demand for natural antioxidant compounds to reduce reliance on synthetic substances that pose various adverse effects on human health and the environment. This review aims to summarize the most relevant information during June and July of 2024 at the UANL School of Agronomy, Monterrey, Nuevo Leon regarding the presence of phytochemicals in semi-desert species of Mexico and their potential applications. The data were sourced from internationally recognized databases, emphasizing the antioxidant potential of these phytochemical compounds and their possible applications. The findings suggest that the semi-desert of Mexico harbors species with valuable phytochemical

compounds, whose biological potential has been extensively demonstrated by various studies. Their exploitation could contribute to innovation and development within the pharmaceutical industry, these species are used as cytotoxic agents and neuroprotectors, and in the agrobiotechnology industry for controlling phytopathogens and as active ingredients in functional foods. The most relevant compounds in their chemical composition are flavonoids and terpenes

Keywords: antioxidants, phytochemicals, semi-desert plants, extraction methods

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una amplia e importante biodiversidad vegetal, siendo la región norte una de las áreas con más diversidad en donde el clima semidesértico alberga a numerosas especies vegetales adaptadas al clima extremo de la región (Alvarez-Perez et al., 2020). Algunas de las especies más importantes de la región se describen a continuación. *Jatropha dioca* es una planta endémica de México que crece de forma silvestre en regiones áridas y semiáridas. Sus tallos y raíces se han utilizado ampliamente para tratar enfermedades oculares, la diarrea, las hemorroides, así como para el tratamiento de la calvicie y de dolencias dentales (Gutiérrez-Tlahque et al., 2021). Por otra parte, *Flourensia cernua* es una especie endémica que crece a lo largo de los desiertos de Chihuahua y Sonora, estando presente en siete estados de México (Alvarez-Perez et al., 2022). Esta planta se ha utilizado a lo largo de los años como infusión para el tratamiento de diversas enfermedades gastrointestinales, reumatismo, enfermedades venéreas, herpes, bronquitis, varicela y resfriado común (Jasso de Rodríguez et al., 2019). Así también, *Larrea tridentata* es un arbusto perenne que crece en regiones desérticas de Estados Unidos y México, y se caracteriza por su alta resistencia a plagas y enfermedades. En la medicina tradicional, se ha utilizado como tratamiento para la disfunción sexual, reumatismo, artritis, diabetes y daño renal (Morales-Ubaldo et al., 2021). *Turnera diffusa* por su parte, es una especie nativa del estado de Baja California, y sus propiedades medicinales son ampliamente conocidas, utilizándose comúnmente como infusión, y la disfunción sexual es una de las principales dolencias tratadas con esta especie (Reyes-Becerril et al., 2020). Finalmente, la planta candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*), es una planta perenne con pocas hojas, la cual consta de tallos cilíndricos que son erectos y están cubiertos de cera. Esta cera sirve como agente impermeabilizante, previniendo la deshidratación del tejido vegetal debido a las condiciones de estrés extremo causadas por el ambiente en el que la planta se desarrolla (Bautista-Hernández et al., 2020).

El interés en la investigación sobre compuestos antioxidantes de origen natural ha ido en aumento debido a sus beneficios para la salud humana (Li et al., 2012). Los polifenoles son los principales compuestos vegetales a los que se les atribuyen propiedades medicinales debido a su actividad antioxidante y capacidad para neutralizar radicales libres, lo que tiene el potencial de ser aplicado para el beneficio de la salud humana, (Stanisavljevic et al., 2012; El-Demerdash et al., 2019), por lo que representan una opción viable para el desarrollo de terapias medicinales. Asimismo, han demostrado tener capacidad de actuar como agentes efectivos para el control de fitopatógenos, reduciendo así, el desarrollo de resistencia ante los agentes químicos sintéticos y al mismo tiempo reduciendo también los efectos negativos a la salud animal y al medio ambiente por la residualidad de los mismos (Tucuch-Pérez et al. 2020).

El objetivo de la presente revisión es sentar las bases sobre la presencia de fitoquímicos es especies vegetales del semi-desierto mexicano, así como el potencial biológico de estos compuestos, los cuales pueden ser aplicados en diversas áreas de la industria farmacéutica y agroalimentaria.

METODOLOGÍA

Con sede en la Facultad de Agronomía de la UANL, Monterrey, Nuevo León, México. Durante los meses de junio y julio de 2024 se realizó una búsqueda especializada en bases de datos especializadas; Google académico (<https://scholar.google.es/>), Scopus (<https://www.scopus.com/home.uri>) y *Sciencedirect* (<https://www.sciencedirect.com/>) Utilizando como palabras clave de búsqueda “antioxidants” “phytochemicals”, “*Jatropha dioica*”, “*Flourensia cernua*”, “*Larrea tridentata*”, “*Turnera diffusa*” y “*Euphorbia antisiphylitica*”. Se seleccionaron aquellos artículos que estuvieran de acuerdo con el objetivo de esta revisión. En el Cuadro 1 se mencionan las principales propiedades fitoquímicas de las especies analizadas en la presente revisión, la información detallada es descrita a lo largo del documento.

Cuadro 1. Principales propiedades fitoquímicas de las especies del semi-desierto mexicano

Especie	Compuestos bioactivos*	Aplicación **	Referencias
<i>J. dioica</i>	Naringenina	Efecto antimicrobiano (Importancia Clínica)	Terrazas-Hernández et al. (2018)
	Apigenina		
	Ésteres alquílicos de ácido acético y ferúlico	Efecto antifúngico (Importancia Agrícola)	Gutiérrez-Tlahque et al. (2019)
	Citlaltiriono	Efecto antimicrobiano (Importancia Agrícola)	Pérez-Pérez et al. (2020)
<i>F. cernua</i>	Epi-catequina	Efecto hipoglucémico	Valenzuela-Soto et al. (2019)
	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico		
	Luteolina 7-O-rutinósido	Efecto antifúngico (Importancia agrícola)	Álvarez-Pérez et al. (2020)
	6- C -glucosil-8- C -arabinosil apigenina		
<i>L. tridentata</i>	Luteolina 7-O-rutinósido	Efecto hipoglucémico	Aranda-Ledesma et al. (2022);
	Apigenina-6-C-glucosil-8-C-arabinósido		Aranda-Ledesma et al. (2024)
	ND	Efecto antimicrobiano (Importancia Agrícola)	Morales-Ubaldo et al. (2021)
	4,4'-dihidroxi-3-metoxi-6,7'-ciclolignano	Efecto antimicrobiano (Importancia Clínica)	Núñez-Mujica et al. (2021)
<i>T. diffusa</i>	4,4'-dihidroxi-3',4'-dimetoxi-6,7'-ciclolignano		
	Ácido cafeico 4-O-glucósido	Efecto antifúngico (Importancia Agrícola)	Bamidele et al. (2024)
	Ramnetina		
	Arbutina	Efecto citotóxico	Flores y Guadalupe (2014)
	Apigenina		
	Naringenina	Efecto citotóxico	Willer et al. (2019)
	Apigenina 7- O -(4''- O - p - E - cumaroil)-glucósido		
	Acetina	Efecto neuro activo	Bernardo et al. (2017)
Apigenina			
	ND	Expresión génica proinflamatoria	Reyes-Becerril et al. (2021)
	Oplopanona y γ -Eudesmol (Fracción no polar)	Efecto antimicrobiano (Importancia clínica)	Reyes-Becerril et al. (2021);
	D-Glucosa y Sucrosa (Fracción polar)		Reyes-Becerril et al. (2021)

	Apigenina	Efecto antifúngico (Importancia agrícola)	Tapia-Quirós et al. (2020)
E.	Luteolina		
<i>antisiphilitica</i>	Candelitanina	Efecto antifúngico (Importancia agrícola)	Ascacio-Valdés et al. (2013)

ND: No Disponible, *Solo se mencionan los compuestos más sobresalientes según cada autor, para información más detallada consultar cada referencia, **Las aplicaciones biológicas son descritas a detalle en la sección resultados y discusión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción de fitoquímicos antioxidantes

Existen diferentes métodos de extracción, tales como la extracción asistida por ultrasonido (EAU), la extracción por reflujo de calor y la extracción por fermentación (Wong-Paz et al., 2015b; Wong-Paz et al., 2014; Wong-Paz et al., 2015a; Wong-Paz et al., 2014; De León et al., 2013). Aunque se han empleado diversas técnicas de extracción (convencionales y no convencionales), la utilización de la extracción asistida por ultrasonido (EAU) presenta varias ventajas sobre las técnicas convencionales, tales como la selectividad, alta eficiencia, mayor calidad, bajo consumo de energía, menor tiempo de extracción y consumo de solvente, reducción de riesgos químicos y físicos, y un alto nivel de automatización (Chen et al., 2007). En este sentido, Cruz-Aldaco et al. (2019), reportaron que la aplicación de ultrasonido a frecuencia baja y una alta concentración de etanol permite obtener una mayor cantidad de polifenoles hidrosolubles y taninos condensados a partir de extractos de *L. tridentata*. Sin embargo, Wong-Paz et al. (2014), no encontraron una diferencia significativa en el contenido fenólico total (TPC) obtenido por el método asistido por ultrasonido y por reflujo de calor, en donde factores como la temperatura también influyen directamente en los resultados obtenidos. Esto podría indicar que la obtención de un alto rendimiento de compuestos bioactivos no sólo depende de las condiciones técnicas del ensayo si no de la naturaleza de la muestra.

Asimismo, se ha reportado la optimización de los parámetros de estos procesos de extracción mediante la implementación de modelos estadísticos que permiten un mayor control de parámetros como el tiempo de extracción, la relación sólido-líquido y la concentración de solvente (Wong-Paz et al., 2015). Tal y como lo reportaron recientemente Aranda-Ledesma et al. (2024), que al emplear un método de extracción no convencional (EAU) en conjunto con un modelo estadístico Taguchi L9 se logró incrementar los rendimientos obtenidos de compuestos polifénolicos de hojas de *F. cernua*, esto respecto a un método convencional. Otro factor importante para considerar al realizar la extracción es el tamaño de partícula, ya que un tamaño de partícula pequeño aumenta la superficie de contacto del material vegetal con el solvente y, por lo tanto, incrementa los rendimientos de extracción del compuesto de interés (Wong-Paz et al., 2015b). Por otra parte, De León et al. (2013), demostraron que el proceso de fermentación fúngica de los extractos de *F. cernua* condujo a un aumento en la presencia de fenoles libres, lo que influyó directamente en el potencial antioxidante. Asimismo, la fermentación en estado sólido no requiere el uso de ningún solvente orgánico (Martins et al., 2012), representando así una opción amigable con el medio ambiente. Sin embargo, los rendimientos obtenidos no solo dependerán del solvente o el tamaño de partícula utilizado; existen otros factores que influyen en el rendimiento, tales como: pH, temperatura, tiempo de extracción y composición química de la muestra (Dirán et al., 2019). Uno de los problemas que surge al utilizar extractos vegetales como sustancias antimicrobianas, es la contaminación por hongos y mohos, principalmente al utilizar materiales vegetales frescos, debido a que no siguen técnicas asépticas durante los procesos de extracción. Por lo tanto, el proceso de esterilización es una opción viable para la solución de este problema (Terrazas-Hernández et al., 2018); sin embargo, muchos compuestos

funcionales (polifenoles y flavonoides) son sensibles al calor (Ying et al., 2019). Teniendo esto en cuenta, Terrazas-Hernández et al. (2018) demostraron que los extractos sometidos a procesos de esterilización no mostraron una disminución en el potencial antioxidante respecto a los extractos no esterilizados.

Dentro de las propiedades más estudiadas de los compuestos bioactivos presentes en las plantas del semi-desierto mexicano se encuentran la actividad antioxidante, así como la actividad antibacteriana y antifúngica, por mencionar algunas, las cuales se han atribuido a su alto contenido de compuestos polifenólicos y otros fitoquímicos. A continuación, se discuten dichas propiedades de cada una de las especies.

Propiedades antioxidantes

J. dioica

Gutiérrez-Tlahque et al. (2019) determinaron que los extractos de *J. dioica* presentan una cantidad importante de metabolitos secundarios que son producidos por la planta durante el estrés oxidativo debido a la deshidratación. Algunos de estos metabolitos son: ésteres alquil, ésteres alquil del ácido ferúlico, cetonas diterpénicas y fenoles. En un estudio más reciente, estos autores demostraron que la ubicación geográfica, así como las condiciones climáticas y edáficas de la región y el solvente utilizado influyen directamente en el potencial antioxidante de los extractos de tallo y raíz, así como en los niveles totales de fenoles y flavonoides (Gutiérrez-Tlahque et al. 2021). Además, Gutiérrez-Tlahque et al. (2018) determinaron que diversos factores, como el sitio de recolección, el momento de recolección y el solvente de extracción, afectan los niveles de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante.

Por otro lado, Terrazas-Hernández et al. (2018) demostraron que el proceso de esterilización no afecta considerablemente la actividad antioxidante en los ensayos de DPPH[•] respecto a los extractos no esterilizados, a pesar de que se observa una mayor cantidad de fenoles totales, lo que puede deberse a la pérdida de otros compuestos antioxidantes (compuestos nitrogenados, carotenoides o ácido ascórbico) que contribuyeron a la suma total de la capacidad antioxidante del extracto (Pastene, 2008). Sin embargo, en los ensayos de ABTS^{•+} se reportó un ligero aumento en las muestras esterilizadas, lo que podría deberse a un incremento en fenoles y flavonoides, así como a algunos compuestos derivados de reacciones de caramelización y reacciones de Maillard con capacidad para quelar metales y proporcionar así, una mayor actividad antioxidante (Yu et al., 2012). No obstante, a pesar del aparente potencial de los extractos de *J. dioica*, otros informes la posicionan como una especie con un potencial menor en comparación con otras especies evaluadas (Wong-Paz et al., 2015b; Wong-Paz et al., 2014).

F. cernua

Actualmente, los estudios sobre el contenido fenólico de *F. cernua* son relativamente escasos. Sin embargo, Wong-Paz et al. (2015b) encontraron altos niveles de fenoles totales (TPC), lo que se traduce en un mayor porcentaje de inhibición en los ensayos de DPPH[•], ABTS^{•+} y LPO, respecto a los extractos de *J. dioica* y *T. diffusa*. Este potencial se atribuye a la polaridad de los solventes utilizados, que tienden a arrastrar compuestos fenólicos (no polares). Esta actividad coincide con la reportada por Álvarez-Pérez et al. (2020), quienes, en extractos acuosos de *F. cernua*, reportaron inhibición de radicales DPPH[•] (13-55 %) y ABTS^{•+} (13-55 %), así como inhibición de la lipoperoxidación (20-57 %). Además, dicha actividad puede estar relacionada con la presencia de flavonoides y sus derivados, siendo los más representativos en este estudio la presencia de Luteolina 7-O-rutinosido y Apigenina 6-C-glucosil-8-C-arabinosilo, que fueron previamente reportados por De León-Zapata et al. (2016). La presencia de estos compuestos podría estar relacionada con la actividad antioxidante reportada. Sin embargo, también se ha reportado que los extractos de *F. cernua* presentan un menor potencial antioxidante en

comparación con otras especies del mismo género (*F. microphylla* y *F. retinophylla*) (Jasso de Rodríguez et al., 2019).

L. tridentata

Martins et al. (2012) obtuvieron altos niveles de ácido nordihydroguaiaretico (NDGA), además de quercetina y kaempferol en hojas de *L. tridentata* usando metanol al 90 %, cuya polaridad es mayor que otros solventes utilizados (agua, etanol). En cuanto al contenido de flavonoides, reportaron una correlación entre el contenido total de flavonoides y el contenido de proteínas, lo cual es un signo de que estos compuestos se unen fácilmente a las proteínas y esta interacción puede enmascarar la capacidad antioxidante de los extractos. Por otra parte, en estudios más recientes se ha reportado la utilización de los extractos acuosos, alcohólicos e hidroalcohólicos de *L. tridentata*, siendo los extractos hidroalcohólicos los que mayor contenido de compuestos fenólicos mostraron (212.46 EAG·L⁻¹), exhibiendo también la mayor capacidad antioxidante evaluada por ensayos ABTS⁺, DPPH[·], FRAP, óxido nítrico y superóxido), dicha actividad puede estar atribuida a compuestos como Justicidin B y Beta peltain (Skouta et al. 2018). Esto coincide a lo reportado por Bamidele et al. (2024) quienes concluyen que los extractos hidroalcohólicos (60:40 etanol:agua) de hojas de esta planta permiten obtener una mayor cantidad de taninos hidrolizables siendo más efectiva la parte aérea de la planta respecto a los tallos para obtener este tipo de compuestos.

T. diffusa

Wong-Paz et al. (2015b) reportaron bajo contenido de TPC (2.5 - 4.70 mg GAE·g⁻¹) en extractos hidroalcohólicos de *T. diffusa* respecto a otras especies evaluadas (*F. cernua* y *E. camaldulensis*). Sin embargo, dichos extractos también mostraron una mayor captación de radicales DPPH[·] (≈ 76.03 %) respecto a la inhibición de radicales ABTS⁺ (≈ 30 %), por lo que se puede deducir que la muestra tiene más capacidad para donar un átomo de hidrógeno en lugar de transferir un electrón. Además, la actividad antioxidante puede ser debida a otros compuestos de naturaleza no fenólica responsables de dicha actividad. Por otro lado, Soriano-Melgar et al. (2012) reportaron que las hojas en peso húmedo de *T. diffusa* tienen un mayor contenido de compuestos fenólicos totales, así como un mayor potencial de captación de radicales DPPH[·] y una tendencia a evitar el proceso de peroxidación lipídica (TBARS). También, se ha reportado que los extractos de *T. diffusa* a concentraciones de 300 µg·mL⁻¹ presentan una actividad similar al ácido ascórbico por lo que podría para sustituir a los antioxidantes de uso común (Reyes-Becerril et al. 2024).

E. antisiphilitica

Actualmente, no hay muchos informes sobre las propiedades antioxidantes de la planta candelilla; sin embargo, en estudios recientes, Bautista-Hernández et al. (2021) reportaron que los residuos de candelilla resultantes del proceso de extracción de cera son ricos en contenido de flavonoides con rangos entre 43.71 – 78.95 (mE quercetina µg mL⁻¹), lo que indica la presencia de compuestos de naturaleza fenólica y, por lo tanto, se refleja con un potencial antioxidante en la captura de radicales libres (DPPH[·], ABTS⁺) con valores IC₅₀ de 179.441 - 438.154 (µg mL⁻¹) y 46.78 – 69.01 (µg mL⁻¹), respectivamente; así como un potencial reductor férrico de estos residuos con valores entre 46.38 – 135.07 (mE ácido gálico µg mL⁻¹) e inhibición del proceso de oxidación lipídica (LPO) con valores entre 30.10 - 70.31 %. Los autores reportaron que la actividad antioxidante podría verse afectada debido dependiendo del proceso de extracción de cera. Este potencial antioxidante puede estar relacionado con la presencia de varios compuestos previamente reportados, siendo el candelitannino (elagitannina) único y característico de la especie *E. antisiphilitica* (Ascacio-Valdés et al., 2013). También, se ha reportado la presencia de ácido elágico en concentraciones de 7.9 (mg

g⁻¹) y se estableció que la concentración de este compuesto no se ve afectada por el proceso de extracción de los compuestos bioactivos (Ascacio-Valdés et al., 2010). Además del ácido elálgico, se han identificado otros compuestos como el ácido gálico, catequina y taninos condensados (Rojas-Molina et al., 2013).

Propiedades antibacterianas

J. dioca

Se ha determinado que los extractos de rizomas de *J. dioca* esterilizados y no esterilizados presentaron actividad inhibitoria similar contra *Streptococcus mutans* (Terrazas-Hernández et al., 2018). Por otro lado, dentro de ámbito agrícola se ha determinado que los extractos de *J. dioca* poseen potencial inhibitorio que afectan diversos cultivos vegetales, presentando una inhibición contra *Clavibacter michiganensis* subsp *michiganensis*, *Pseudomonas syringe* pv. *Tomato* y *Xanthomonas campestris* pv. *Vesicatory*, las cuales afectan severamente al cultivo de tomate, siendo la citlalitrono (diterpeno) el principal compuesto al cual se le atribuye dicha actividad (Pérez-Pérez et al., 2020).

L. tridentata

Se ha reportado que la fracción orgánica (acetato de etilo) de *L. tridentata* presentó un potencial bactericida mayor, en comparación a los extractos hidroalcohólicos y las fracciones acuosas contra bacterias de importancia agrícola (*C. michiganensis* sbsp. *michiganensis*, *X. campestris* y *S. syringae*), dicho efecto se atribuye a que los compuestos de media y baja polaridad lavados con acetato de etilo pueden atravesar fácilmente las paredes celulares bacterianas (Morales-Ubaldo et al., 2021). También se ha demostrado que los extractos de *L. tridentata* presentan una fuerte inhibición de patógenos de importancia clínica como lo son los géneros *Staphylococcus* y *Streptococcus*, dicho efecto se le atribuye a la capacidad de los extractos para actuar como potenciadores de antibióticos de origen β-lactámicos (Turner et al., 2021). Además, se ha reportado que los extractos de cloroformo de *L. tridentata* presentan un alto potencial de inhibición contra patógenos resistentes a diversos antibióticos obteniendo valores de Concentración Mínima Inhibitoria (CIM) contra *M. tuberculosis* (12.5-25 μg·mL⁻¹), *Staphylococcus aureus* (6.25 μg·mL⁻¹) y (12.5 μg/mL) y otras bacterias gram positivas, dicha actividad es atribuida a dos ciclolignanos denominados como 4,4'-dihydroxy-3-methoxy-6,7'-cyclo lignan y 3,4-dihydroxy-3',4'-dimethoxy-6,7'-cyclo lignan (Núñez-Mojica et al., 2021).

T. diffusa

Se ha reportado que las infusiones y extractos metanolicos de *T. diffusa* presentan una inhibición de *Vibrio parahaemolyticus* entre el 20-50% a concentraciones entre 200 - 800 μg·mL⁻¹ (Reyes-Becerril et al., 2020). Con base a estos resultados, el mismo grupo de investigación aplicó los extractos acuosos de *T. diffusa* en el desarrollo de nanopartículas de oro para la inhibición de *Vibrio parahaemolyticus* y *Aeromonas hydrophila* entre el 20 y 35 % a concentraciones entre los 200 y 800 (mg·mL⁻¹), dicho efecto se atribuye a que al tratarse de bacterias Gram negativas poseen doble membrada de lipopolisacáridos, lo cual las vuelve más susceptibles a la acción de las nanopartículas (Reyes-Becerril et al., 2021). Además, de una fuerte actividad sobre las especies patógenas *S. aureus* y *S. pyogenes* en ensayos *in vitro* (Reyes-Becerril et al. 2024).

Propiedades antifúngicas

J. dioca

Se ha reportado que los extractos etanólicos crudos de *J. dioca* inhiben el crecimiento de *Fusarium. oxysporum* hasta en un 90% a concentraciones mayores de 125 mg·L⁻¹ (Tucuch-

Pérez et al., 2020). Además, de tener un poder moderado para inhibir las especies *Alternaria alternata*, *Sclerotium rolfsii*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* siendo la parte de la planta con mayor potencial inhibitorio respecto a los tallos. Dicho potencial se atribuyó a los ésteres alquílicos de ácido acético y ferúlico, así como a los diterpenos, los cuales fueron caracterizados física y espectroscópicamente (Gutiérrez-Tlahque et al., 2019).

F. cernua

Alvarez-Perez et al. (2020) demostraron que los extractos acuosos de *F. cernua* inhiben en valores de hasta 60%, a tres especies de hongos fitopatógenos de importancia en poscosecha en tomate. Asimismo, en un estudio previo, De León et al. (2013) comprobaron que los extractos fermentados de *F. cernua* presentaban porcentajes de inhibición mayores al 5% sobre los hongos fitopatógenos *Penicillium expansum* y *Fusarium oxysporum*, en comparación con los extractos no fermentados, dicha actividad inhibitoria fue atribuida a que los hongos fermentadores polimerizaron y despolimerizaron por medio enzimas los monómeros fenólicos presentes en la muestra, provocando de esta manera un mayor potencial antioxidante y por lo tanto un mayor poder inhibitorio. Más tarde, De León-Zapata et al. (2015) establecieron que la presencia de ácido gálico y flavonoides en infusiones de hojas de *F. cernua* son las responsables de la actividad inhibitoria de los hongos *Rhizopus stolonifer*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* y *Colletotrichum gloeosporioides*. Además, se ha reportado que los extractos etanólicos inhiben la esporulación conoidal eficientemente de las especies *Monilinia fructigena*, *Botrytis cinerea* y *Venturia inaequalis*; sin embargo, mostraron un nulo efecto ante las esporas de *Alternaria solani* (Ganchev, 2022).

L. tridentata

Peñuelas-Rubio et al. (2017), demostraron que los extractos de *L. tridentata* obtenidos con el uso de diclorometano y metanol presentaron un alto efecto inhibitorio contra *Fusarium oxysporum radialis-lycopersici* a concentraciones de 3000 y 4000 ppm, respectivamente. Además de que estimularon el desarrollo vegetativo de la planta de tomate, por lo que representa una opción viable para el control del patógeno causante de la pudrición de la corona. Sin embargo, el uso de dichos solventes no es recomendable debido a los efectos tóxicos que pueden presentar al medio ambiente y la salud humana. En este sentido, Bamidele et al. (2024) indican que los extractos hidroalcohólicos (etanol:agua) presentaron un efecto inhibitorio superior al 50 y 40 % sobre *F. oxysporum* y *Alternaria alternata*, respectivamente, siendo los compuestos ácido cafeico 4-O-glucósido, ramnetina, ácido protocatechuico 4-O-glucósido, kaempferol, (+)-galocatequina y luteolina las principales moléculas responsables de dicho potencial antifúngico y demostrando de la misma manera que el uso de solventes verdes permite obtener compuestos de calidad sin efectos nocivos para el ambiente.

T. diffusa

En el caso de esta especie, se ha reportado que los compuestos polifenólicos obtenidos a partir de los tallos tienen la capacidad de inhibir la enzima endo-1,3-β-glucanasa del hongo *Botrytis cinerea*, la cual cumple una función fisiológica en los procesos morfogénicos durante el desarrollo de algunas especies fúngicas, en este sentido los compuestos apigenina y luteolina fueron los responsables de dicha actividad con un potencial de inhibición superior al 60% (Tapia-Quirós et al., 2020).

E. antisiphilitica

Como se mencionó anteriormente, la presencia de la candelitanina (elagitanino) aislado de la fracción de compuestos fenólicos totales, mostró una actividad inhibitoria de fitopatógenos

(*Alternaria alternata*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium lycopersici*, *Colletotrichum gloeosporioides* y *Rhizoctonia solani*) entre al 20 y 45 %, aproximadamente (Ascacio-Valdés et al., 2013), por lo que representa una alternativa para su aplicación dentro de la industria alimentaria para el control de fitopatógenos.

Propiedades citotóxicas

Muchos de los fármacos que se han empleado en el tratamiento contra los diferentes tipos de cáncer tienen un origen vegetal, los cuales han sido aislados o bien generados semi sintéticamente a partir de los mismos. En este sentido, se ha reportado que los extractos etanólicos de *T. diffusa* tienen actividad citotóxica sobre la línea celular MDAMB-231 (cáncer de mama), estableciendo que el efecto sobre la línea celular es directamente proporcional a la dosis aplicada, así mismo se identificaron dos compuestos; la arbutina y la apigenina como los responsables de dicha actividad (Avelino-Flores et al., 2014). También se ha demostrado su potencial para inhibir la actividad de líneas celulares de mieloma múltiple (NCI-H929, U266 y MM1S), usando extractos obtenidos con acetona. Además, los autores identificaron que la naringenina y la apigenina 7-*O*-(4"-*O*-*p*-*E*-cumaroil)-glucósido son las moléculas con mayor actividad frente a dichas líneas celulares (Willer et al., 2019).

Mientras que Morales-Velázquez et al. (2019) evaluaron los efectos genotóxicos en el proceso de gestación de los extractos acuosos de raíz de *J. dioca*, determinando que éstos no afectan el proceso de gestación en ratas preñadas (60-100 mg·kg⁻¹). Sin embargo, dichos extractos muestran una leve toxicidad en las crías al disminuir la cantidad de eritrocitos policromáticos (PCE) a concentraciones de 300 mg·kg⁻¹. Estos resultados coinciden con lo reportado por Araujo-Espino et al. (2017), quienes evaluaron el efecto genotóxico de los extractos acuosos de *J. dioca* sobre ratones macho en los cuales no se observó un efecto negativo en eritrocitos policromáticos (PCE), eritrocitos micro nucleados policromáticos (PCEMN) y eritrocitos micro nucleados (MNE) en concentraciones de hasta 300 mg·kg⁻¹. Finalmente, se ha informado que los extractos de *L. tridentata* utilizando solventes verdes (agua, etanol y mezcla de ambos) no muestran efectos nocivos para células HS27 no cancerosas en concentraciones de hasta 120 µg·mL⁻¹ (Skouta et al., 2018).

Propiedades neuro activas

Los compuestos fenólicos cumplen con múltiples roles dentro del sistema nervioso central (SNC), ya que son capaces de interactuar con objetivos moleculares específicos y vías subyacentes relacionadas con la neurodegeneración (Ebrahimi y Schluesener, 2012). En este sentido, los extractos acuosos de *T. diffusa*, han mostrado tener un alto potencial de la inhibición de la enzima hMAO-A (mono amino oxidasa A humana) involucrada en el desarrollo de enfermedades psiquiátricas y neurológicas, obteniendo valores de IC₂₅ de 0.352 (mg·mL⁻¹). También, es capaz de inhibir la actividad de las enzimas acetilcolinesterasa (AChE) y butirilcolinesterasa (BuChE), que intervienen en la hidrólisis de neurotransmisores, reportándose valores de IC₂₅ de 0.352 y 0.370 (mg·mL⁻¹), respectivamente. Por lo que representa una opción viable para ser aplicado como un agente neuro activo. Además de su potencial como inhibidor de enzimas, presenta una baja citotoxicidad neuronal afectando la viabilidad neuronal a concentraciones mayores a 0.500 (mg·mL⁻¹) (Bernardo et al., 2017). Sin embargo, en un estudio realizado por Gómez-Becerra et al. (2016), los autores reportaron que a concentraciones menores de 100 µg·mL⁻¹, se observa una baja toxicidad en astrocitos teniendo un umbral de toxicidad entre 100 y 1.000 µg·mL⁻¹ por lo que el grado de toxicidad puede depender de la dosis aplicada. También se demostró que los extractos acuosos de *T. diffusa*, participan en la reducción de la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales están directamente relacionados en la neurodegeneración y la excitotoxicidad del glutamato (Bernardo et al., 2017). En un estudio más reciente, también se ha reportado que la estimulación

de leucocitos con infusiones de *T. diffusa* ($25 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) promueve la expresión génica proinflamatoria de IL-1 β contra *V. parahaemolyticus* en ensayos *in vitro* (Reyes-Becerril et al., 2020). Estos hallazgos fueron posteriormente confirmados al evaluar el efecto citotóxico de nanopartículas de oro adicionadas con extractos acuosos de *T. difusa*, los cuales no afectaron la viabilidad celular en concentraciones de hasta $50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (Reyes-Becerril et al., 2021).

Efecto hipoglucémico

Valenzuela-Soto et al. (2019), reportaron que los extractos de hojas de *J. dioica* tienen un alto contenido de flavonoides y compuestos antioxidantes entre los cuales se pueden destacar la catequina, epi-catequina y ácido *p*-hidroxibenzoico como los posibles responsables de la actividad hipoglucémica. Sin embargo, a pesar de contener la mayor cantidad de compuestos antioxidantes su actividad, no fue igual a otros extractos también evaluados por lo que se requiere realizar más estudios sobre los mecanismos de acción y sobre todo a que compuestos se les atribuye dicha actividad. En este sentido se ha evaluado la capacidad de los extractos de *J. dioica* de inhibir no sólo las enzimas involucradas en la asimilación de almidón, sino también del potencial para regular la asimilación de glucosa, demostrando que esta especie reduce significativamente la captación de glucosa en ensayos *ex vivo* (saco intestinal invertido). En el caso de *F. cernua*, Aranda-Ledesma et al., (2022 y 2024), demostraron que los compuestos polifenólicos obtenidos a partir las hoja de esta planta, presentan actividad inhibitoria sobre las enzimas α -amilasa y α -glucosidasa, las cuales participan en la asimilación de almidón y sus derivados los cuales se relacionan directamente con el desarrollo de enfermedades degenerativas como la diabetes tipo II y la obesidad, demostrando que los compuestos bioactivos presentes en esta planta presentan potencial para una futura aplicación dentro de la industria.

Otras aplicaciones prometedoras

Entre las diversas aplicaciones en las cuales han sido utilizados los compuestos de las especies antes mencionadas, se pueden destacar algunas que se describen a continuación. El extracto metanólico de *L. tridentata* ricos en ácido cafeico, catequina y epicatequina demostró tener una capacidad antioxidante para aumentar la estabilidad oxidativa de biodiesel, ya que retrasó el tiempo de oxidación con valores de índice de peróxido ($100 \text{ meq O}_2/\text{kg}$) hasta cuatro veces más respecto al grupo control a concentraciones de $250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, además de proveer una mayor estabilidad con un índice de estabilidad oxidativa (IEO) de 32.27 h a 110°C a concentraciones de $1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, representando una alternativa frente a los antioxidantes sintéticos utilizados en la producción de biodiesel (Sagaste et al., 2018). Por otra parte, los extractos etanólicos de *F. cernua* han sido implementado como un componente de recubrimientos comestibles nano laminados para alargar la vida útil de tomates reduciendo la pérdida de peso y el desarrollo microbiano, así como para disminuir intercambio de gases (O_2 y CO_2) y la producción de etileno (de Jesús Salas-Méndez et al., 2020). Estos resultados son similares a lo reportado por Ruiz-Martínez et al. (2020), que en una evaluación de una cubierta comestible a base de cera de candelilla y adicionado con extractos de *F. cernua*, las cuales mostraron resultados positivos en las propiedades de barrera (permeabilidad de vapor de agua) así como en las sensoriales, además de inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos y un aspecto final del fruto aceptable para su consumo. También se ha demostrado la capacidad de los extractos de *T. diffusa* para mejorar la actividad de los genes *IL-1 β* , *TNF- α* e *IL-10*, logrando mejorar la actividad inmunológica en el proceso de infección por *Aeromonas hydrophila*, además de mejorar la actividad de mieloperoxidasa, óxido nítrico, superóxido dismutasa y catalasa en el moco y suero de la especie de pescado *Seriola rivoliana*, demostrado el efecto inmunoprotector de la especie *T. diffusa* por lo que podría implementarse como aditivo en la dieta en acuicultura.

CONCLUSIÓN

Las plantas del semi-desierto mexicano, representan una fuente valiosa de compuestos fitoquímicos con valor agregado que destacan por sus propiedades antioxidantes y su potencial para ser aplicados dentro en la industria médica y agroalimentaria, permitiendo de esta manera reducir la dependencia al uso de compuestos sintéticos y promoviendo actividades ambientalmente responsables. Esta revisión proporciona una base sólida para futuras investigaciones que permitan desarrollar aplicaciones prácticas de estas especies en diversas áreas de la industria agrobiotecnológica y farmacéutica.

REFERENCIAS

- Adame-Miranda, S. J., Granados-Guzmán, G., Silva-Mares, D. A., Acevedo-Fernández, J. J., Waksman-Minsky, N., & Salazar-Aranda, R. (2021). Evaluation of antihyperglycemic activity of plants in northeast Mexico. *Cellular and Molecular Biology*, 67(1), 212-218. <https://doi.org/10.14715/cmb/2021.67.1.30>
- Aranda-Ledesma, N. E., Aguilar-Zárate, P., Bautista-Hernández, I., Rojas, R., Robledo-Jiménez, C. L., & Martínez-Ávila, G. C. G. (2024). The Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction for Bioactive Compounds from *Flourensia cernua* and *Jatropha dioica* and the Evaluation of Their Functional Properties. *Horticulturae*, 10(7), 709. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070709>
- Aranda-Ledesma, N. E., González-Hernández, M. D., Rojas, R., Paz-González, A. D., Rivera, G., Luna-Sosa, B., & Martínez-Ávila, G. C. (2022). Essential Oil and Polyphenolic Compounds of *Flourensia cernua* Leaves: Chemical Profiling and Functional Properties. *Agronomy*, 12(10), 2274. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102274>
- Araujo-Espino, D. I., Zamora-Perez, A. L., Zúñiga-González, G. M., Gutiérrez-Hernández, R., Morales-Velazquez, G., & Lazalde-Ramos, B. P. (2017). Genotoxic and cytotoxic evaluation of *Jatropha dioica* Sessé ex Cerv. by the micronucleus test in mouse peripheral blood. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 86, 260-264. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.03.017>
- Ascacio-Valdés, J., Aguilera-Carbó, A., Martínez-Hernández, J., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. (2010). *Euphorbia antisiphilitica* residues as a new source of ellagic acid. *Chemical Papers*, 64(4), 528-532. <https://doi.org/10.2478/s11696-010-0034-6>
- Ascacio-Valdés, J., Burboa, E., Aguilera-Carbo, A. F., Aparicio, M., Pérez-Schmidt, R., Rodríguez, R., & Aguilar, C. N. (2013). Antifungal ellagitannin isolated from *Euphorbia antisiphilitica* Zucc. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(1), 41-46. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60021-0](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60021-0)
- Flores, A., & Guadalupe, M. D. C. (2014). Evaluación de la actividad antitumoral y estudio fitoquímico de extractos de *Turnera diffusa* y *Verbesina persicifolia*. <http://www.rdcg.cbg.ipn.mx/handle/20.500.12273/699>
- Bamidele, M. O., Pérez, O. B. Á., Sandoval-Cortes, J., Flores-López, M. L., Chavez-González, M. L., & Aguilar, C. N. (2024). Polyphenolic Bioactive Compounds from *Larrea tridentata* (DC.) Coville: Extraction, Characterization, Antioxidant, and Antifungal Activities. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4370220/v1>
- Cruz-Aldaco, K., Sánchez-Aldana, D., Ortega-Hernández, S., Cárdenas-Félix, G., Aguilera-Carbo, A., Ascacio-Valdes, J. A., & Aguilar, C. N. (2019). Analysis and quantification of *Larrea tridentata* polyphenols obtained by reflux and ultrasound-assisted extraction. In *Green Chemistry and Biodiversity* (pp. 97-110). Apple Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9780429202599-8>
- de Jesús Salas-Méndez, E., Vicente, A., Pinheiro, A. C., Ballesteros, L. F., Silva, P., Rodríguez-

- García, R., & de Rodríguez, D. J. (2019). Application of edible nanolaminate coatings with antimicrobial extract of *Flourensia cernua* to extend the shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest biology and technology*, 150, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.12.008>
- De León-Zapata, M. A., Pastrana-Castro, L., Rua-Rodríguez, M. L., Alvarez-Pérez, O. B., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2016). Experimental protocol for the recovery and evaluation of bioactive compounds of tarbush against postharvest fruit fungi. *Food chemistry*, 198, 62-67. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.034>
- Dirar, A. I., Alsaadi, D. H. M., Wada, M., Mohamed, M. A., Watanabe, T., & Devkota, H. P. (2019). Effects of extraction solvents on total phenolic and flavonoid contents and biological activities of extracts from Sudanese medicinal plants. *South African Journal of Botany*, 120, 261-267. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.07.003>
- Ebrahimi, A., & Schluesener, H. (2012). Natural polyphenols against neurodegenerative disorders: potentials and pitfalls. *Ageing research reviews*, 11(2), 329-345. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2012.01.006>
- El-Demerdash, F. M., Jebur, A. B., Nasr, H. M., & Hamid, H. M. (2019). Modulatory effect of *Turnera diffusa* against testicular toxicity induced by fenitrothion and/or hexavalent chromium in rats. *Environmental toxicology*, 34(3), 330-339. <https://doi.org/10.1002/tox.22688>
- Ganchev, D. (2022). Antisporulation Action Of Tarbush Plant (*Flourensia Cernua*) Towards Conidiospores Of Plant Pathogens. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture (MJSA)*, 6(2), 81-84. <http://doi.org/10.26480/mjsa.02.2022.81.84>
- Gutiérrez-Tlahque, J., Aguirre-Mancilla, C. L., López-Palestina, C., Sánchez-Fernández, R. E., Hernández-Fuentes, A. D., & Martín Torres-Valencia, J. (2019). Constituents, antioxidant and antifungal properties of *Jatropha dioica* var. *dioica*. *Natural Product Communications*, 14(5). <https://doi.org/10.1177/1934578X19852433>
- Gutiérrez-Tlahque, J., Mancilla, C. L. A., Raya-Pérez, J. C., Pimentel, J. G. R., Jiménez-Alvarado, R., & Fuentes, A. D. H. (2018). Effect of climate conditions on total phenolic content and antioxidant activity of *Jatropha dioica* Cerv. var. *dioica*. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 45(1), 70-81. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6660683>
- Jasso-De Rodríguez, D., Hernandez-Castillo, D., Angulo-Sanchez, J. L., Rodriguez-Garcia, R., Villarreal Quintanilla, J.A., Lira-Saldivar, R.H., (2007). Antifungal Activity in Vitro of *Flourensia* spp. Extracts on *Alternaria* sp., *Rhizoctonia Solani*, and *Fusarium Oxysporum*. *Industrial Crops and Products*. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.08.007>
- Lan Y. (2019). Waxes. *Encyclopedia of food chemistry*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22344-5>
- Li, H., Deng, Z., Wu, T., Liu, R., Loewen, S., & Tsao, R. (2012). Microwave-assisted extraction of phenolics with maximal antioxidant activities in tomatoes. *Food Chemistry*, 130(4), 928-936. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.019>
- Morales-Velazquez, G., Lazalde-Ramos, B. P., Gómez -Meda, B. C., Zúñiga-González, G. M., Ortiz-García, Y. M., Gutiérrez-Hernández, R., & Zamora-Pérez, A. L. (2019). Genome Damage in Rats after Transplacental Exposure to *Jatropha dioica* Root Extract. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2962950>
- Núñez-Mojica, G., Vázquez-Ramírez, A. L., García, A., Rivas-Galindo, V. M., Garza-González, E., González-Bravo, G. E. C., & del Rayo Camacho-Corona, M. (2021). New cyclolignans of *Larrea tridentata* and their antibacterial and cytotoxic activities. *Phytochemistry Letters*, 43, 212-218.

- <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2021.04.013>
- Peñuelas-Rubio, O., Arellano-Gil, M., Verdugo-Fuentes, A. A., Chaparro-Encinas, L. A., Hernández-Rodríguez, S. E., Martínez-Carrillo, J. L., & Vargas-Arispuro, I. D. C. (2017). Larrea tridentata extracts as an ecological strategy against Fusarium oxysporum radialis-lycopersici in tomato plants under greenhouse conditions. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(3), 360-376. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1703-3>
- Pérez-Pérez, J. U., Guerra-Ramírez, D., Reyes-Trejo, B., Cuevas-Sánchez, J. A., & Guerra-Ramírez, P. (2020). In vitro antimicrobial activity of Jatropha dioica Seseé extracts against tomato phyto-pathogenic bacteria. *Polibotánica*, (49), 125-133. <http://dx.doi.org/10.18387/polibotanica.49.8>
- Reyes-Becerril, M., Maldonado, M., Vimolmangkang, S., & Angulo, C. (2024). In vivo and ex vivo studies support the immunostimulant and immunoprotective effect of Damiana (Turnera diffusa Willd) in Almaco Jack (Seriola rivoliana). *Fish & Shellfish Immunology*, 146, 109369. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109369>
- Reyes-Becerril, M., Ruvalcaba, F., Sánchez, V., López, M. G., Silva-Jara, J., Hernández-Adame, L., & Angulo, C. (2021). Green synthesis of gold nanoparticles using Turnera diffusa Willd enhanced antimicrobial properties and immune response in Longfin yellowtail leukocytes. *Aquaculture Research*, 52(7), 3391-3402. <https://doi.org/10.1111/are.15184>
- Rojas-Molina, R., De León-Zapata, M. A., Saucedo-Pompa, S., Aguilar-Gonzalez, M. A., & Aguilar, C. N. (2013). Chemical and structural characterization of Candelilla (Euphorbia antisiphilitica Zucc.). *Journal of medicinal plants research*, 7(12), 702-705. <http://www.academicjournals.org/JMPR>
- Ruiz-Martínez, J., Aguirre-Joya, J. A., Rojas, R., Vicente, A., Aguilar-González, M. A., Rodríguez-Herrera, R., ... & Aguilar, C. N. (2020). Candelilla wax edible coating with flourensia cernua bioactives to prolong the quality of tomato fruits. *Foods*, 9(9), 1303. <https://doi.org/10.3390/foods9091303>
- Silva-Belmares, Y., C. Rivas-Morales, E. ViverosValdez, M. G. De la Cruz-Galicia, & P. Carranza-Rosales. (2014). Antimicrobial and cytotoxic activities from Jatropha dioica roots. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 17:748–750 <https://doi.org/10.3923/pjbs.2014.748.750>
- Skouta, R., Morán-Santibañez, K., Valenzuela, C. A., Vasquez, A. H., & Fenelon, K. (2018). Assessing the antioxidant properties of Larrea tridentata extract as a potential molecular therapy against oxidative stress. *Molecules*, 23(7), 1826. <https://doi.org/10.3390/molecules23071826>
- Soriano-Melgar, L. D. A. A., Alcaraz-Meléndez, L., Méndez-Rodríguez, L. C., Puente, M. E., Rivera-Cabrera, F., & Zenteno-Savín, T. (2012). Antioxidant and trace element content of damiana (Turnera diffusa Willd) under wild and cultivated conditions in semi-arid zones. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 321-327. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.12.017>
- Szewczyk, K., & Zidorn, C. (2014). Ethnobotany, phytochemistry, and bioactivity of the genus Turnera (Passifloraceae) with a focus on damiana—Turnera diffusa. *Journal of ethnopharmacology*, 152(3), 424-443. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.01.019>
- Tapia-Quirós, P., Martínez-Téllez, M. Á., Ávila-Quezada, G. D., & Vargas-Arispuro, I. (2020). Inhibition of fungal endo-1, 3-β-glucanase by phenols isolated from Turnera diffusa: an alternative for conventional antifungals. *Revista mexicana de fitopatología*, 38(1), 160-169. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1911-3>
- Tucuch-Pérez, M. A., Arredondo-Valdés, R., & Hernández-Castillo, F. D. (2020). Antifungal activity of phytochemical compounds of extracts from Mexican semi-desert plants against Fusarium oxysporum from tomato by microdilution in plate method. *Nova*

- scientia, 12(25). <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2345>
- Turner, T., Ruiz, G., Gerstel, J., & Langland, J. (2021). Characterization of the antibacterial activity from ethanolic extracts of the botanical, *Larrea tridentata*. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 21(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12906-021-03344-9>
- Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300-312. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004>
- Willer, J., Jöhrer, K., Greil, R., Zidorn, C., & Çiçek, S. S. (2019). Cytotoxic properties of *Damiana* (*Turnera diffusa*) extracts and constituents and a validated quantitative UHPLC-DAD assay. *Molecules*, 24(5), 855. <https://doi.org/10.3390/molecules24050855>
- Wong-Paz, J. E., Castillo-Inungaray, M. L., López-López, L. I., Contreras-Esquivel, J. C., Nevárez-Moorillon, G. V., & Aguilar, C. N. (2010). *Jatropha dioica*: Fuente potencial de agentes antimicrobianos. *Revista Científica de la universidad Autónoma de Coahuila*, 2(4).
- Wong-Paz, J. E., Contreras-Esquivel, J. C., Rodríguez-Herrera, R., Carrillo-Inungaray, M. L., López, L. I., Nevárez-Moorillón, G. V., & Aguilar, C. N. (2015b). Total phenolic content, in vitro antioxidant activity and chemical composition of plant extracts from semiarid Mexican region. *Asian pacific journal of tropical medicine*, 8(2), 104-111. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(14\)60299-6](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(14)60299-6)
- Wong-Paz, J. E., Márquez, D. B. M., Ávila, G. C. M., Cerda, R. E. B., & Aguilar, C. N. (2015a). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from native plants in the Mexican desert. *Ultrasonics sonochemistry*, 22, 474-481. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.06.001>
- Yin, Q., Mu, H., Zeng, M., Gao, D., Qin, F., Chen, J., & He, Z. (2019). Effects of heating on the total phenolic content, antioxidant activities and main functional components of simulated Chinese herb candy during boiling process. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 476-486. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9961-7>
- Yu, X., Zhao, M., Hu, J., Zeng, S., & Bai, X. (2012). Correspondence analysis of antioxidant activity and UV-Vis absorbance of Maillard reaction products as related to reactants. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.010>