



Mozote blanco
(*Bidens odorata* Cav.)



Maíz
(*Zea mays* L.)
Imágenes tomada de: Lorena Casanova Pérez

Metabolitos secundarios en plantas herbáceas de la Huasteca veracruzana, México

Secondary metabolites in herbaceous plants from the Huasteca veracruzana, Mexico

Lorena Casanova-Pérez^{1*}, Hugo Brígido Barrios-García², Verónica Rosales-Martínez³

RESUMEN

El papel de la agrobiotecnología ha sido fundamental en los últimos años para la búsqueda e implementación de buenas prácticas que conduzcan a una agricultura sustentable. Ello representa una oportunidad para que los metabolitos secundarios, de origen vegetal, sean utilizados en cultivos de interés. El objetivo de esta investigación fue evaluar los metabolitos secundarios asociados a 54 especies de plantas herbáceas identificadas como plantas medicinales en la Huasteca veracruzana, México y su potencial uso en el desarrollo de productos agrobiotecnológicos. Se revisaron fuentes bibliográficas para obtener información sobre el tipo de metabolitos encontrados en cada especie herbácea con uso medicinal identificada en la región, el órgano utilizado y el método de extracción realizada. Se encontró información de 46 especies, de las cuales, el 41 % fue reportada por poseer al menos un grupo funcional de metabolitos secundarios; el 26 % mostró la presencia de dos grupos funcionales, mientras que, el 18 % y el 15 % de las especies poseen tres y cuatro grupos funcionales de metabolitos, respectivamente. Solo 6 de las especies analizadas han sido estudiadas con fines de establecer su potencial uso agrobiotecnológico. Si bien, la mayoría de las plantas se analizan para establecer su potencial empleo farmacológico, esta información es sumamente valiosa porque brinda indicios sobre el potencial de dichas especies y sus metabolitos secundarios como base para la elaboración de productos agrobiotecnológicos, cuyo uso favorezca el manejo sustentable de la agricultura.

PALABRAS CLAVE: agricultura, bioproductos, cultivos, seguridad alimentaria, cambio climático.

ABSTRACT

In recent years, agrobiotechnology has played a pivotal role in the pursuit and implementation of sustainable agricultural practices. This presents a potential opportunity for the utilization of secondary metabolites derived from plants in the cultivation of crops of interest. The objective of this research was to evaluate the secondary metabolites associated with 54 species of herbaceous plants identified as medicinal plants in the Huasteca veracruzana, Mexico, and to assess their potential use in the development of agrobiotechnological products. A review of the bibliographic sources was conducted to obtain information on the type of metabolites found in each herbaceous species with medicinal use identified in the region, the organ used, and the extraction method employed. Information was obtained for 46 species, 41 % of which were reported to possess at least one functional group of secondary metabolites. Additionally, 26 % of the species showed the presence of two functional groups, while 18 % and 15 % of the species possessed three and four functional groups of metabolites, respectively. Only 6 of the analyzed species have been studied with the objective of establishing their potential agrobiotechnological use. While the majority of the plants are analyzed to ascertain their potential pharmacological applications, this information is of significant value as it provides insights into the potential of these species and their secondary metabolites as a foundation for the development of agrobiotechnological products.

KEYWORDS: agriculture, bioproducts, crops, food security, climate change.

*Correspondencia: lorena.casanova@uthh.edu.mx/Fecha de recepción: 28 de abril de 2024/Fecha de aceptación: 11 de octubre de 2024/ Fecha de publicación: 25 de octubre de 2024.

¹Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Programa Educativo Agrobiotecnología, carretera Huejutla-Chalahuiyapa s/n, colonia Tepoxteco, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México, C. P. 43000. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia "Dr. Norberto Treviño Zapata", Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87274. ³Colegio de Postgraduados Campus Campeche, Posgrado en Bioprospección y Sustentabilidad Agrícola en el Trópico, Champoton, Campeche, México, C. P. 24450.

INTRODUCCIÓN

La Huasteca, es una región cultural en México considerada como un área de alta diversidad biológica, característica asociada a su compleja fisiografía y la presencia de grupos originarios, quienes, por generaciones, han usado diversas especies que forman su patrimonio biocultural (Ávila y González, 1998). Dichas especies tienen diversos usos, siendo los principales, el alimenticio y el medicinal y tienen un gradiente de manejo que va desde aquellas cultivadas hasta las recolectadas, considerándose estas últimas, parte de poblaciones naturales amenazadas por el cambio del uso del suelo y las sequías, situación que puede ocasionar su desaparición en los próximos años (Chávez-Acuña y col., 2022).

Las investigaciones sobre estas plantas, y en particular, sobre sus características fitoquímicas son escasas, puesto que al no ser plantas valoradas, desde una perspectiva económica, han sido excluidas de la agenda científica tecnológica (Osuna, 2015). Sin embargo, resultan un recurso potencial para el desarrollo de productos agrobiotecnológicos destinados al manejo sostenible de la agricultura (Romo-Rico y col., 2022), que puedan ser adquiridos o producidos por los pequeños productores mediante técnicas rústicas, siendo ambos una alternativa desde una perspectiva económica (insumos asequibles y baratos) y ambiental (nulo o limitado impacto negativo al suelo y las fuentes de agua) (Senthil-Nathan y col., 2022).

El desarrollo de bioproductos de origen vegetal requiere, en primer lugar, que las especies de interés sean identificadas botánicamente; posteriormente, debe realizarse la revisión bibliográfica de su uso real y potencial, con base en los metabolitos secundarios que le son inherentes, y por último, su validación en diferentes protocolos de investigación, que permitan la generación y verificación de conocimiento útil en el diseño de productos en caminados a la bioestimulación de cultivos, control de malezas, asimismo, al control y prevención de plagas y enfermedades (Bano y col., 2023).

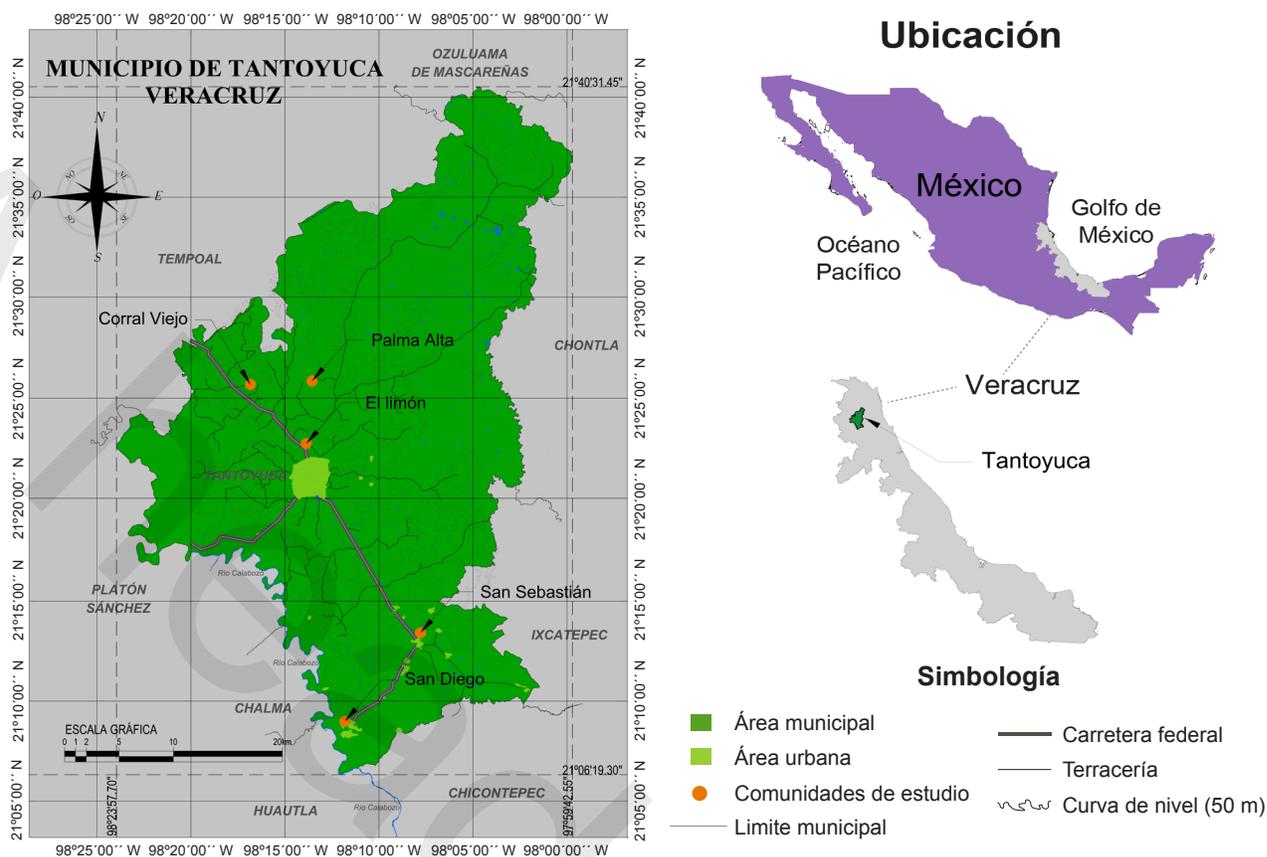
Es importante mencionar que los metabolitos secundarios son compuestos de naturaleza química distinta, y juegan un papel importante en la adaptación al estrés ambiental y en la defensa ante potenciales predadores y patógenos de las plantas (Lustre, 2022), en contraste con los metabolitos primarios, que están implicados en el crecimiento, desarrollo y reproducción del cultivo (azúcares, proteínas, aminoácidos y ácidos nucleicos).

El presente trabajo tuvo como objetivo describir los metabolitos secundarios asociados a 54 especies herbáceas clasificadas como plantas medicinales en la Huasteca de Veracruz, México y su potencial uso en el desarrollo de productos agrobiotecnológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación es de carácter cualitativo, basada en la revisión de fuentes secundarias (artículos científicos, capítulos de libro, tesis de licenciatura y posgrado), siendo la continuación de una investigación realizada de julio a diciembre de 2017, en la cual se identificaron botánicamente 158 especies utilizadas como parte de la medicina tradicional en cinco localidades de la Huasteca, específicamente en el municipio de Tantoyuca, Veracruz, México (Casanova-Pérez y col., 2022) (Figura 1).

Del total de especies identificadas, se eligieron 54 especies de plantas clasificadas por su forma biológica como herbáceas, las cuales son obtenidas por la población a partir de la recolección o a través de su cultivo en la parcela o el patio familiar. La búsqueda de información sobre los metabolitos secundarios asociados a cada especie se realizó durante el segundo semestre de 2023. Esto requirió el uso de motores de búsqueda y del uso de conjugaciones de palabras clave como: metabolitos secundarios, el nombre científico de cada especie, caracterización fitoquímica, tamizaje químico, entre otras. De esta búsqueda, se eligieron 54 fuentes. El 87 % fueron investigaciones de carácter experimental y 13 % revisiones de alguna especie en particular.



Fuente: Modificado a partir de INEGI (2009).

■ **Figura 1. Ubicación de las cinco localidades que conforman el área de estudio.**

Figure 1. Location of the five localities included in the study area.

La identificación de los metabolitos secundarios, asociados a cada especie, se realizó con base en su estructura química (terpenos, fenólicos, glicósidos y alcaloides) (Kennedy, 2019). Además, se obtuvo información sobre el órgano utilizado para la extracción de los metabolitos, el tipo de extracción, el país en donde se realizó la investigación. Esta información fue sistematizada y analizada en Excel versión 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión bibliográfica permitió obtener información fitoquímica de 46 especies de plantas herbáceas, mientras que de 8 no se obtuvo dicha información: *Hymenocallis americana* Roem., *Rawolfia heterophylla* Roem. & Shult, *Mandevilla subsagittata* (R. & P.) Woods., *Acalypha phleoides* Cav., *Lasiacis ruscifolia* (H.B.K.) Hitch., *Solanum* sp., *Urtica chamaedryoides* Pursh. y *Priva aspera* H.B.K.

De las 48 especies de las que si se obtuvo información, se identificó que en 9 de estas, sus metabolitos secundarios tienen una aplicación en la industria alimentaria, mientras que 30 un uso farmacéutico y únicamente en 5, sus metabolitos secundarios se asociaron a al uso agrobiotecnológico.

En las especies de *Xanthosoma robustum*, *Teloxys ambrosioides*, *Tagetes erecta*, *Capsicum annum*, *Solanum torvum* y *Euphorbbia hypericifolia* (Tabla 1), se abordó su uso agrobiotecnológico, con temas como la capacidad de los metabolitos secundarios como biofungicidas, bioplaguicidas, biobactericidas y bioproductos capaces de inhibir malezas. En 30 especies se tuvo como propósito evaluar su capacidad antioxidante, antidiabética, hepatoprotectora, anti-nociceptiva, antiinflamatoria, neuroprotectora y cardioprotectora, entre otras (Nirmala y col., 2022). Hallazgos valiosos desde el enfoque de

■ Tabla 1. Información general sobre las especies herbáceas y sus metabolitos secundarios asociados según diversas fuentes.

Table 1. General information on herbaceous species and their associated secondary metabolites according to various sources.

Nombre científico	Nombre común	Objetivo de la investigación	Órgano de la planta	Método de extracción	País del estudio	Autores
Adiantaceae						
<i>Adiantum amplum</i> 	Corazón	Identificar propiedades antimicrobianas para un posible uso farmacéutico (tratamiento contra enfermedades gastrointestinales y de las vías respiratorias ocasionadas por <i>Escherichia coli</i> y <i>Staphylococcus aureus</i>)	Frondas y rizomas + raíces	Extracción hexánica, acetato de etilo, metanólica y acuosa	México	Montoya (2022)
Araceae						
<i>Xanthosoma sagittifolium</i> Schott 	Malanga	Evaluar la composición físico-química, perfil fitoquímico y biológico (potencial uso en procesos alimentarios)	Hojas, tallos y rizomas	Extracción etanólica y acuosa	Camerún	Omokolo y col. (2005)
		Evaluar capacidad de metabolitos secundarios producidos por las plantas de esa especie ante la presencia de <i>Staphylococcus aureus</i> (potencial uso alimentario)	No aplica	No aplica	Brasil	Silva y col. (2006)
<i>Xanthosoma robustum</i> Schott* 	Hoja elegante	Evaluar actividad antifúngica en 20 hongos fitopatógenos para potencial uso agrobiotecnológico	Tubérculo	Extracción etanólica y acuosa	México	Estrada y col. (2005)
Boraginaceae						
<i>Heliotropium angiospermum</i> Murray 	Cola de alacrán	Identificar metabolitos bioactivos y su capacidad antimicrobial, antioxidante y antiinflamatoria para uso farmacéutico	Hojas	Extracción etanólica y acuosa	México	Erosa-Rejón y col. (2009)

Continúa...

<i>Tournefortia hirsutissima</i> L. 	Venado de tres cabezas	Evaluar actividad biológica sobre gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Hojas	Extracción hexánica, diclorometano, metanólica y acuosa	México	Lucena (2020)
Chenopodiaceae						
<i>Teloxys ambrosioides</i> (L.) W. A. Weber* 	Epazote	Determinar actividad fumigante (<i>Sitophilus zeamais</i>), antifúngica (<i>Fusarium oxysporum</i>) y antioxidante para uso agrobiotecnológico	Hojas	Extracción acuosa	Colombia	Jaramillo y col. (2012)
Compositae						
<i>Parthenium hysterophorus</i> L. 	Chuchoyate	Caracterizar fitoquímicamente la especie y su capacidad antioxidante, particularmente, en el tratamiento de enfermedades gastrointestinales	Hojas	Extracción etanólica	Ecuador	Echavarría y col. (2016)
<i>Artemisia ludoviciana</i> ssp. Mexicana Willd. 	Estafiate	Caracterizar fitoquímicamente la especie (potencial uso farmacéutico)	Hojas	Extracción etanólica	México	Ruiz-Cancino y col. (1993)
<i>Tagetes erecta</i> L.* 	Flor de muerto	Identificar la actividad insecticida en <i>Spodoptera frugiperda</i> (uso agrobiotecnológico)	Tallos y hojas	Extracción etanólica y de acetato de etilo	Brasil	Feng y col. (2018)
		Identificar capacidad bioactiva de metabolitos secundarios a través de secuencias genómicas y transcriptómicas para su potencial uso farmacéutico	Hojas, flores maduras e inmaduras	Al material se le aplicó nitrógeno líquido para después ser secuenciado transcrip-tomicamente	China	Santos y col. (2022)
<i>Tridax procumbens</i> L. 	Hierba del corazón	Identificar actividad antiinflamatoria de los metabolitos secundarios para su potencial uso farmacéutico	Hojas y flores	Extracción metanólica	India	Devi y col. (2022)
<i>Erigeron pubescens</i> H. B. K. 	Llave de pagazo	Evaluar capacidad insecticida sobre <i>Sitophilus zeamais</i>	Hojas y flores	No aplica (el material fue únicamente deshidratado)	México	Juárez-Flores y col. (2010)

Continúa...

<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass. Subsp. <i>Macrocephalum</i> ■	Mesis	Evaluar actividad antioxidante y presencia de compuestos de origen fenólico para su potencial uso farmacéutico (uso para infecciones bacterianas y fúngicas en el ser humano)	Hojas	Extracción metanólica	México	Tabarez (2019)
<i>Sclerocarpus uniserialis</i> (Hook.) Benth. & Hook. ■	Mozote amarillo	Evaluar capacidad insecticida sobre <i>Sitophilus zeamais</i>	Hojas y flores	No aplica (el material fue vegetal fue únicamente deshidratado)	México	Juárez-Flores y col. (2010)
<i>Bidens odorata</i> Cav. ■	Mozote blanco	Analizar fitoquímicamente extractos aéreos para actividades antimicrobianas e hipolipemiante (cardioprotector)	Brotos aéreos	Extracción etanólica y acuosa	México	Hernández-Sánchez y col. (2018)
<i>Vernonia greggii</i> Gray ■ ■	Quichín morado	Evaluar actividad antibacteriana y antimicótica <i>in vitro</i> para su potencial uso farmacéutico	Hojas	Extracción etanólica	Guatemala	Canel (2012)
<i>Tagetes lucida</i> Cav ■	Pericón	Identificación de las características antinociceptivas para uso farmacéutico (tratamiento del dolor)	Hojas	Extracción etanólica	México	González-Trujano y col. (2019)
Commelinaceae						
<i>Tradescantia cf. Pallida</i> (Rose) Hunt ■	Matlalina	Evaluar la actividad microbiana contra microorganismos de interés médico (<i>Fusarium oxysporum</i>)	Hojas, tallo y flor	Extracción metanólica	México	Morales (2018)
Crassulaceae						
<i>Kalanchoe pinnata</i> (Lamb) Pers ■	Tronadora	Identificar compuestos fenólicos y antioxidantes con fines farmacéuticos (estrés oxidativo y proceso inflamatorio)	Hojas	Extracción acuosa	México	Navarro y col. (2023)

Continúa...

Euphorbiaceae						
<p><i>Phyllanthus acuminatus</i> Vahl</p> 	Hierba de la campana	Determinar condiciones óptimas de cultivo líquido para las raíces pilosas y potenciar la presencia de metabolitos. Uso antibacterial y antiviral para uso farmacéutico	Raíces	Medio de cultivo <i>in vitro</i>	Costa Rica	Pérez-Méndez y col. (2022)
<p><i>Euphorbia hypericifolia</i> (L.) Link.*</p> 	Gavilancillo	Determinar su capacidad alelopática como bioherbida (uso potencial agrobiotecnológico)	Hojas, tallo y raíces	Extracción acuosa	Camerún y Japón	Ndam y col. (2021)
<p><i>Pedilanthus</i> sp</p> 	Picito de virgen	Evaluar diterpenoides y su capacidad como precursores biogénicos para la reversión de la resistencia a fármacos	Hojas	Extracción etanólica	China	Zhang y col. (2022)
Gramineae						
<p><i>Zea mays</i> L.</p> 	Maíz	Evaluar su capacidad antimicótica (<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus flavus</i> y <i>Aspergillus brasiliensis</i>), bactericida y antioxidante	Estigmas de maíz deshidratadas	Extracción etanólica	India	Abirami y col. (2021)
<p><i>Cymbopogon citratus</i> (DC) Stapf</p> 	Zacate limón	Analizar el potencial antidiabético de los flavonoides y glicósidos de esta especie	Hojas	Extracción metanólica	Portugal	Borges y col. (2021)
		Actividad antibiopelícula contra <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Staphylococcus epidermidis</i> en pacientes con rinosinusitis	Tallo	Extracciones acuosa, etanólica y metanólica	Tailandia	Kho-sakueng y Taweechai-supapong (2024)

Continúa...

Labiatae						
<i>Ocimum basilicum</i> L. ■	Albahacar	Identificar fuente potencial para la obtención de eugenol (terpeno), para fines terapéuticos (uso antiséptico y anestésico)	Hojas, tallos, inflorescencias y raíces.	Extracciones acuosa, etanólica y metanólica	Korea	Bhuvaneshwari y col. (2016)
<i>Menta citrata</i> Ehrh. ■	Hierba buena	Identificar metabolitos secundarios (monoterpenos y sesquiterpenos para uso potencial alimentario)	Tallo, hojas y flores	Cromatógrafo de gases	Algeria	Ouakouak y col. (2019)
<i>Hyptis verticillata</i> Jacq. ■ ■ ■	Hierba del negro	Analizar la actividad fitoquímica y farmacobiológica vinculada a la especie (potencial uso antiinflamatorio; antibacteriano, antifúngico, antiviral, anti-VIH, antisecretor y hepatoprotector)	<i>Review</i>	<i>Review</i>	Estados Unidos	Picking y col. (2013)
<i>Salvia coccinea</i> Juss. Ex Murr. ■ ■	Mirto rojo	Analizar el progreso de la investigación sobre las características fitoquímica, bioactividad, filogenia y antiósmica de la especie	<i>Review</i>	<i>Review</i>	China	Hao y col. (2015)
<i>Ocimum micranthum</i> Will. ■	Talachín	Caracterizar fitoquímicamente la especie e identificar los metabolitos secundarios presentes para su uso farmacéutico potencial (identificación de compuestos bioactivos para ser utilizados en nutraceúticos para mejorar la salud humana)	Hojas	Extracciones con acetona, acuosa, diclorometano, etanol, hexánica y metanólica	India	Priya y Serva (2023)
Leguminosae						
<i>Arachis hypogaea</i> L. ■	Cacahuete	Evaluar capacidad antioxidante (potencial uso alimentario)	Semillas	Extracción metanólica	USA	Duncan y col. (2006)

Continúa...

<i>Dalea aff. Bicolor</i> Humb. & Bonpl. Ex. Willd. 	Carga-sereno	Evaluar actividad antibacteriana in vitro sobre bacterias de importancia en salud pública (infecciones provocadas por <i>Streptococcus mutans</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Bacillus subtilis</i>)	Follaje	Extracción hidroalcohólica	México	Morales-Ubaldo y col. (2022)
Liliaceae						
<i>Allium glandulosum</i> Link & Otto 	Chunacate	Identificación de metabolitos secundarios para el tratamiento antiinflamatorio y del sistema inmune	Follaje	Extracción con levadura	Japón	Zhao y col. (2004)
		Evaluar capacidad antibacterial (<i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas syringae</i> pv. Actinidae), fines farmacéuticos	Follaje	Extracción metanólica	China	Chen y col. (2022)
<i>Allium cepa</i> L. 	Cebolla	Evaluar método de extracción de flavonoides para uso alimentario	Cáscara	Extracción metanólica	México	Fajardo-Romero y col. (2016)
Malvaceae						
<i>Sida acuta</i> Burm. 	Malva	Caracterización química de metabolitos secundarios y su potencial uso farmacéutico (cáncer, antioxidante e inhibidor enzimático)	Follaje	Extracciones metanólica y acuosa	Turquía, Bulgaria, Costa de marfil y Mauritania	Uysal y col. (2021)
Martyniaceae						
<i>Martynia annua</i> L. 	Uña de gato	Evaluar actividad antibacterial y antidiabética (uso potencial farmacéutico)	Follaje	Extracción metanólica	India	Alrabie y col. (2023)
Musaceae						
<i>Musa paradisiaca</i> L. 	Plátano largo	Evaluar actividad antihelmíntica para uso farmacéutico	Hojas y tallo	Extracciones acuosa, metanólica y condiclorometano	Francia	Marie-Magdeleine y col. (2014)

Continúa...

<i>Musa paradisiaca</i> L. 	Plátano largo	Evaluar actividad antibacterial para uso farmacéutico (enfermedades provocadas por <i>Staphylococcus aureus</i>)	Hojas	Extracción etanólica	Malasia	Siva-samugham y col. (2021)
Nyctaginaceae						
<i>Mirabilis jalapa</i> L. 	Maravilla	Evaluar metabolitos secundarios para su potencial uso en enfermedades neurodegenerativas, cáncer y cardiopatías coronarias	Corteza, hoja y raíces	Extracción metanólica	India	Zachariah y col. (2011)
		Evaluar actividad antioxidante para uso farmacéutico (potencial tratamiento del cáncer de hígado por deficiencia de hierro)	Flores	Extracción etanólica	Indonesia	Suselo y col. (2023)
Papaveraceae						
<i>Argemone ochroleuca</i> Sweet/mexicana 	Chicalote o tzolich	Caracterización química y farmacológica de la especie (uso potencial para el tratamiento del COVID-19)	<i>Review</i>	<i>Review</i>	India	Brahmachari y col. (2013)
Portulacaceae						
<i>Talinum paniculatum</i> (Jacq.) Gaertn. 	Hierba de ajolote o quelite	Investigación etnofarmacológica de las propiedades cardiorrenales	Hojas y tallos	Extracción etanólica	Brasil	Lima y col. (2019)
		Evaluar método de incremento de saponina mediante ingeniería metabólica	Hojas	Extracción etanólica	India	Afifah y col. (2023)
Phytolaccaceae						
<i>Rivina humilis</i> L. 	Hierba mora o baja tripa	Analizar las estructuras de los metabolitos secundarios contenidos en el estudio químico de la fracción apolar del extracto metanólico de las hojas	Hojas	Extracción metanólica	México	Hernández y col. (2022)

Continúa...

<i>Petiveria alliacea</i> L. 	Hierba de zorrillo o pasan	Describir propiedades fitoquímicas y farmacológicas de la especie (tratamiento del sistema nervioso central, anestésico)	Review	Review	Brasil	Luz y col. (2016)
Shizaeaceae						
<i>Lygodium venustum</i> Swartz 	Tepante-pazole	Identificar la composición fenólica, citotóxica y actividades antinoceptiva (tratamientos asociados con el manejo del dolor)	Frondas	Extracción metanólica	Brasil	Morais-Braga y col. (2013)
Solanaceae						
<i>Capsicum annum</i> L. var. <i>Glabriusculum</i> (Dunal) Heiser & Pickersgill* 	Chile de árbol	Evaluar actividad antimicrobiana para potencial uso agrobiotecnológico	Fruto	Extracción metanólica	México	Vargas (2014)
<i>Solanum torvum</i> Swartz* 	Prendedora	Evaluar propiedades bactericidas para su potencial uso agrobiotecnológico	Fruto	Extracción acuosa	India	Vanti y col. (2019)
Tectariaceae						
<i>Tectaria heracleifolia</i> (Willd.) Underw. 	Patita	Evaluar propiedades hipoglucémicas para su potencial uso farmacológico (diabetes)	Hojas	Extracción acuosa	México	Luna-Rodríguez y col. (2022)
Verbenaceae						
<i>Lippia dulcis</i> Trev. 	Hierba dulce	Evaluar capacidad de biosíntesis para potencial uso alimentario	Hojas tiernas	Extracción con diclorometano	Canadá	Hurd y col. (2017)
Zingiberaceae						
<i>Costus mexicanus</i> Liemb. 	Caña de jabalí	Realizar tamizaje fitoquímico e identificar capacidad analgésica y antiinflamatoria para fines farmacológicos	Hojas y tallos	No aplica, se realizó decocción	Cuba	Morón y col. (2008)

*Con potencial uso agronómico



Terpenos



Compuestos fenólicos



Glicósidos



Alcaloides

estudio farmacéutico, pero que indirectamente brindan información sobre las posibilidades de uso de estas especies y sus metabolitos asociados en la agrobiotecnología (Tabla 1). Si bien, estos datos son alentadores, también evidencian la escasa exploración sobre el uso específico de estas biomoléculas, incluyendo su capacidad potencial como antivirales, antinematocidas, antibacterianos, antifúngicos, repelentes, bioestimulantes, antioxidante, o como promotores de la tolerancia ante la sequía, como lo sugieren estudios recientes (Chávez-Arias y col., 2022) (Tabla 2).

En cuanto al órgano de la planta usado en las investigaciones revisadas, en el 63.04 % de los casos se utilizaron hojas, 19.56 % tallos y 17.39 % flores o parte de ellas (estigmas). No obstante, se requieren más investigaciones sobre órganos como frutos, raíces, bulbos, incluso la savia, puesto que la presencia y concentración de metabolitos secundarios puede diferir entre éstos (Loza-Cornejo y col., 2017).

La identificación y extracción de metabolitos secundarios en cada especie está influenciada por los métodos de extracción (Geller-McGrath y col., 2023). Matrose y col. (2021) plantean

que las diferentes técnicas, incluido el solvente utilizado, influyen en la posibilidad de obtención o no de ciertos metabolitos secundarios que pudieran estar presentes en una especie. Por tanto, la información presentada en la Tabla 1, si bien, resulta valiosa, deberá considerarse bajo estas limitaciones.

La revisión bibliográfica también mostró que, 41 % de las especies tuvieron al menos un tipo de metabolito (Tabla 1), 26 % únicamente 2, 18 % mostraron la presencia de 3, mientras que el 15 % de éstas tuvieron los cuatro tipos. El tipo de metabolito secundario más abundante, en las especies vegetales involucradas en esta revisión, fueron los compuestos fenólicos (78 %), después los terpenos (50 %), seguidos de los glicósidos (41 %), y en menor cantidad los alcaloides (37 %).

Las especies *Adiantum amplum*, *Parthenium hysterophorus*, *Euphorbia hypercifolia*, *Mirabilis jalapa*, *Solanum torvum*, *Tectaria heracleifolia* y *Zea mays*, presentaron los cuatro grupos de metabolitos secundarios (Tabla 2).

Teloxys ambrosioides y *Sclerocarpus uniserialis*, y otras especies, se asociaron solamente a

■ **Tabla 2. Función ecológica principal de los metabolitos secundarios y su aportación potencial al manejo sustentable de la agricultura.**

Table 2. Main ecological function of secondary metabolites and their potential contribution to sustainable agricultural management.

Propiedades	Metabolitos secundarios			
	Terpenos	Compuestos fenólicos	Glicósidos	Alcaloides
Antibacteriana	*	*		*
Antifúngica	*	*		*
Antiviral		*	*	
Antinematocida		*		
Protección contra herbívoros e insectos	*	*	*	*
Bioestimulante	*		*	
Antioxidante		*	*	
Tolerancia a sequía	*	*		

Fuente: Modificado a partir de Chomel y col. (2016) y Lustre (2022).

la presencia de terpenos; mientras que especies como *Tridax procumbens* y *Porophyllum ruderale* fueron reportadas únicamente con compuestos fenólicos. *Bidens odorata* y *Cymbopogon citratus* registraron presencia de glicósidos, en tanto que, *Phyllanthus acuminatus*, *Lygodium venustum* y *Martynia annua*, entre otras especies, contaron con presencia de alcaloides, además de otros metabolitos secundarios.

Los terpenos actúan en las plantas como atraentes para los polinizadores, pero también como disuasorios tóxicos, evitando el daño a las plantas por parte de organismos fitopatógenos (Kennedy, 2019). En el grupo de los terpenos se ubican los esteroides, esteroides, tocoferoles, y terpenoides, considerados como fitohormonas porque estimulan el crecimiento y desarrollo de la planta. Caso particular son los brasinoesteroides, reguladores de crecimiento que, al igual que otras fitohormonas, son producto del metabolismo secundario, pero actúan como metabolitos primarios. Hernández y García-Martínez (2016) indican que, los brasinoesteroides influyen sobre la germinación, la rizogénesis, la floración, la senescencia, la abscisión y en los procesos de maduración del fruto. Asimismo, los carotenoides, en investigaciones recientes están siendo asociados con la tolerancia de las plantas ante el cambio climático (Sun y Fernie, 2023).

En relación a los compuestos fenólicos, estos permiten a una planta herida defenderse del ataque de hongos o bacterias, ya que pueden evitar la generación de proteínas y elementos vitales para estos patógenos (Martin, 2017); además, su presencia en las plantas está relacionada con los colores rojo, naranja, azul, púrpura o violeta en frutas y hortalizas y su capacidad antioxidante (Zárate-Martínez y col., 2021). Entre los compuestos fenólicos destacan las cumarinas, metabolitos secundarios que protegen a las plantas, ya que suprimen el apetito de los insectos que las consumen, pudiendo provocar daños en órganos vitales (Amaral y col., 2015). Otros compuestos fenólicos son los flavonoides y las antraquinonas,

a los cuales se les atribuyen actividades fungicidas y antibacterianas (Estrada y col., 2005).

Los glicósidos son un grupo de metabolitos secundarios que también ha sido poco explorado para su uso agrobiotecnológico. Son importantes por su toxicidad ante insectos, porque inhiben la producción de trehalasa, una enzima clave que controla la disponibilidad de glucosa en sus cuerpos, además, pueden promover la producción de nódulos en bacterias nitrofixadoras como las del género *Rizobium* (Silva y col., 2006). Se ha reportado que, los son sintetizados a partir de aminoácidos y sus derivados tienen la capacidad de inhibir patógenos (Quian y col., 2023), entre ellos, algunos hongos que atacan hortalizas como las solanáceas (Bressan y col., 2024). Es importante mencionar que, en las 46 especies involucradas en el estudio, no se identificó la presencia de monofenoles, polifenoles, fenoles carboxílicos, ácidos fenólicos o de polifenoles flavonoides como las antocianinas.

Yadav y col. (2021) analizaron las plantas y su capacidad de biosíntesis de diferentes tipos de metabolitos secundarios que las protegen de la peroxidación lipídica y otros daños oxidativos bajo estrés por sequía. También se han estudiado los metabolitos secundarios volátiles y su papel en el alertamiento de los tejidos de las plantas para que alcancen procesos defensivos de mitigación del estrés por sequía (Soubedi y col., 2023). Ghasemi y col. (2023) señalaron que, especies expuestas a este fenómeno agrometeorológico tuvieron un aumento significativo de los niveles de betacaroteno, licopeno, terpenos, antocianina, compuestos fenólicos, flavonoides y alcaloides, lo que indica un cambio metabólico adaptativo en respuesta a condiciones adversas.

CONCLUSIONES

Las plantas medicinales utilizadas actualmente en contextos locales, son un recurso fitogenético con potencial agrobiotecnológico, como en el presente estudio, donde el 13 % de las especies analizadas reportaron esta característica, la cual, puede favorecer a través del

aprovechamiento de sus metabolitos secundarios, el desarrollo de prácticas de manejo para una agricultura sustentable. La extracción y utilización de estas biomoléculas, representan un gran potencial en la elaboración de bioproductos destinados a la prevención y control de plagas, enfermedades, bioestimulación y, con base en resultados de estudios recientes, en la tolerancia de algunas especies de plantas ante condiciones de sequía. Es importante que, al estudiar a profundidad dicho potencial, se considere la compleja biosíntesis de estos metabolitos secundarios en las plan-

tas y su alta especificidad en algunas especies. Se recomienda el desarrollo y establecimiento de protocolos de investigación para cada una de las especies involucradas, que contemplen el uso de diferentes órganos y métodos de extracción óptimos, que conduzcan a la elaboración y evaluación de bioproductos que sean eficaces y asequibles para los agricultores en el mediano plazo.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflictos de intereses de ningún tipo.

REFERENCIAS

- Abirami, S., Priyalakshmi, M., Soundariya, A., Samrot, A. V., Saigeetha, S., Emilin, R. R., Dhiva S., & Inbathamizh, L. (2021). Antimicrobial activity, antiproliferative activity, amylase inhibitory activity and phytochemical analysis of ethanol extract of corn (*Zea mays* L.) silk. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100089. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100089>
- Affah, I. Q., Wibowo, I., & Ahmad, F. (2023). A newly identified B-amyrin synthase gene hypothetically involved in oleanane-saponin biosynthesis from *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaerth. *Helyon*, 9(7), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17707>
- Alrabie, A., Al-Rabie, N. A., Al-SAeedy, M., Al-Adhrai, A., Al-Qadisy I., & Farooqui, M. (2023). *Martynia annua* safety and efficacy: heavy metal profile in silico and in vitro approaches on antibacterial and antidiabetic activities. *Formerly Natural Product Letters*, 37(6), 1016-1022. <https://doi.org/10.1080/14786419.2022.2097227>
- Amaral, A. F., Jühlinch, L. M., Takeuti, K. L., Rolim, V. M., Goncalves, M. A., Da-Cruz, A. S., Driemeier, D., & De-Barcellos, D. E. (2015). Outbreak of coumarin poisoning in suckling piglets. *Acta Scientiae Veterinariae*, 43, 1-9. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/vti-13964>
- Ávila, A. y González, Á. (1998). Diagnóstico regional de La Huasteca. Proyecto Perfiles Indígenas de México. [Archivo PDF]. [En línea]. Disponible en: <https://www.academica.org/salomon.nahmad.sitton/20.pdf>. Fecha de consulta: 13 de febrero de 2024.
- Bano, A., Qadri, T. A., & Khan, M. N. (2023). Bioactive metabolites of plants and microbes and their role in agricultural sustainability and mitigation of plant stress. *South African Journal of Botany*, 159, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.05.049>
- Bhuvaneshwari, K., Gokulanathan, A., Jayanthi, M., Govindasamy, V., Milella, L., Lee, S., Yang, D. C., & Girija, S. (2016). Can *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum tenuiflorum* L. *in vitro* culture be a potential source of secondary metabolites? *Food Chemistry*, 194, 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.136>
- Borges, P. H. O., Pedreiro, S., Baptista, S. J., Geraldés, C. F. G. C., Batista, M. T., Silva, M. M. C., & Figueirinha, A. (2021). Inhibition of α -glucosidase by flavonoids of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. *Journal of Ethnopharmacology*, 280, 114470. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114470>
- Brahmachari, G., Gorai, D., & Roy, R. (2013). *Argemone mexicana*: Chemical and pharmacological aspects. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23(3), 559-575. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2013005000021>
- Bressan, S., Kutscher, M., Marquez, R., Centero, P. R., Correia, P. P., Das-Chagas, D., Loiola, O. D., Dos-Reis, A., Osório, R., & Brum M. (2024). Screening of alkaloids and withanolides isolated from Solanacea plants for antifungal properties against non-wild type *Sporothrix brasiliensis*. *Journal of Medical Mycology*, 34(1), 101451. <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2023.101451>
- Canel, Y. (2012). Actividad microbiana y antimicrobica de los extractos de cinco plantas del género *Vernonia* nativas del sur-occidente de Guatemala. [En línea]. Disponible en: <http://biblioteca.usac.edu>

gt/tesis/06/06_3225.pdf. Fecha de consulta: 11 de enero de 2024.

Casanova-Pérez, C., Delgado-Caballero, C. E., Cruz-Bautista, P. y Casanova-Pérez, L. (2022). Plantas medicinales usadas por los Tének en la Huasteca, México. *CienciaUAT*, 16(2), 40-58. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i2.1576>

Chávez-Acuña, I. J., Flores-Flores, J. L., Domínguez-Cortinas, G. y Chávez-García, E. (2022). Percepción social del papel de la variabilidad y el cambio climático sobre los sistemas socio-ecológicos en comunidades indígenas y mestizas de la Huasteca Potosina en México. *Estudios Sociales*, 32(59), 1-35. <https://doi.org/10.24836/es.v32i59.1179>

Chávez-Arias, C. C., Ramírez-Godoy, A., & Restrepo-Díaz, H. (2022). Influence of drought, high temperatures, and/or defense against arthropod herbivory on the production of secondary metabolites in maize plants. A review. *Current Plant Biology*, 32, 100268. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2022.100268>

Chen, X. M., Lu W., Zhang, Z. H., Zhang, J. Y., Luong, T. M., Lio L., Kim, Y. H., Li, C. H., & Gao, J. M. (2022). Cassane diterpenoids from the aerial parts of *Caesalpinia pulcherrima* and their antibacterial and anti-glioblastoma activity. *Phytochemistry*, 196, 113082. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2021.113082>

Chomel, M., Guittonny-Larchevêque, M., Fernandez, C., Gallet, C., Des-Rochers, A., Paré, D., & Baldy, V. (2016). Plant secondary metabolites: a key driver of litter decomposition and soil nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 104(6), 1527-1541. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12644>

Devi, K., Soni S., Tripathi, V., Pandey, R., & Moharana, B. (2022). Ethanolic extract of *Tridax procumbens* mitigates pulmonary inflammation via inhibition of NF- κ B/p65/ERK mediated signalling in an allergic asthma model. *Phytomedicine*, 99, 154008. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2022.154008>

Duncan, C. E., Gorbet, D. W., & Talcott, S. T. (2006). Phytochemical content and antioxidant capacity of water-soluble isolates from peanuts (*Arachis hypogaea* L.). *Food Research International*, 39(8), 898-904. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.05.009>

Echavarría, A., D'Armas, H., Matute, N., Jaramillo, C., Rojas, L. y Benítez, R. (2016). Evaluación de la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios de extractos de dieciséis plantas medicinales. *Revista Ciencia Unemi*, 9(20), 29-35. <https://www.re>

[dalyc.org/pdf/5826/582663826005.pdf](https://www.researchgate.net/publication/312582663826005)

Erosa-Rejón, G., Peña-Rodríguez, L. M., & Sterner, I. O. (2009). Secondary metabolites from *Heliotropium angiospermum*. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 53(2), 44-47. <https://www.redalyc.org/pdf/475/47512080003.pdf>

Estrada, E., Ordoñez, P. y Morales, O. (2005). Validación de la actividad antifúngica del tubérculo de *Xanthosoma robustum* y determinación de metabolitos secundarios responsables de la actividad. *Revista Científica*, 9(1), 25-29. <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.EdicionEspecial2005.198>

Fajardo-Romero, A., Arroyo-Rivera, A. y Ramírez-Navas, J. S. (2016). Extracción de flavonoides de la envoltura externa de cebolla roja (*Allium cepa*). *UG Ciencia*, 11, 119-126. <https://doi.org/10.18634/ugcj.22v.1i.599>

Feng, G., Huang, S., Liu, Y., Xiao, F., Liu, J., Zhang, Z., Chen, Q., Cao, Y., Chen, D., Zhou, Y., Liu, G., Liu, Y., & Niu, X. (2018). The transcriptome analyses of *Tagetes erecta* provides novel insights into secondary metabolite biosynthesis during flower development. *Gene*, 660, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2018.03.051>

Geller-McGrath, D., Mara, P., & Taylor, G. T. (2023). Diverse secondary metabolites are expressed in particle-associated and free-living microorganisms of the permanently anoxic Cariaco Basin. *Nature Communications*, 14, 656. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36026-w>

Ghasemi, S., Kumleh, H., Kordrostami, M., & Rezadoost, M. H. (2023). Drought stress-mediated alterations in secondary metabolites and biosynthetic gene expression in cumin plants: Insights from gene-specific and metabolite analyses. *Plant Stress*, 10, 100241. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100241>

González-Trujano, M. E., Gutiérrez-Valentino, C., Hernández-Arámburo, M., Díaz-Reval, M. I., & Peñalicer, F. (2019). Identification of some bioactive metabolites and inhibitory receptors in the antinociceptive activity of *Tagetes lucida* Cav. *Life Sciences*, 231(15), 116523. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2019.05.079>

Hernández, E. y García-Martínez, I. (2016). Brasinoesteroides en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 41-50. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i2.356>

Hernández, M. R., Méndez, L., & Aguilar, A. A.

- (2022). Contribution to the chemical study of *Rivina humilis*. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(3), 2603-2613. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/download/50032/37640/124975>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tantoyuca, Veracruz de Ignacio de la Llave. [En línea]. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30155.pdf. Fecha de consulta: 21 de julio de 2024.
- Hao, D. C., Gu, X. J., & Xiao, P. G. (2015). Phytochemical and biological research of *Salvia medicinal* resources. *Medicinal Plants*, 14, 587-639. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100085-4.00014-1>
- Hurd, M. C., Kwon, M., & Ro, D. K. (2017). Functional identification of a *Lippia dulcis* bornyl diphosphate synthase that contains a duplicated, inhibitory arginine-rich motif. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 490(3), 963-968. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.06.147>
- Jaramillo, B. E., Duarte, E. y Delgado, W. (2012). Bioactividad del aceite esencial de *Chenopodium ambrosioides* colombiano. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(1), 54-64. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962012000100006&lng=es&tlng=es.
- Juárez-Flores, B. I., Jasso-Pineda, Y., Aguirre-Rivera, J. R. y Jasso-Pineda, I. (2010). Efecto de polvos de Asteráceas sobre el gorgojo del maíz (*Sitophilus Zeamais* Motsch). *Polibotánica*, 30, 123-135. <https://core.ac.uk/download/pdf/288192163.pdf>
- Kennedy, D. (2019). Plant-derived phytochemicals to enhance cognitive function and alertness. *Sports Science Exchange*, 29(193), 1-5. https://www.gssiweb.org/docs/librariesprovider9/sse-pdfs/sse_193_fitoquimicos_derivados_plantas.pdf?sfvrsn=2
- Khosakueng, M. & Taweechaisupapong, S. (2024). *Cymbopogon citratus* L. essential oil as a potential anti-biofilm agent active against antibiotic-resistant bacteria isolated from chronic rhinosinusitis patients. *Biofouling*, 29, 1-14. <https://doi.org/10.1080/08927014.2024.2305387>
- Lima, S. E., Calloi, R. A., Signor, C. A., Macedo, A. A., Isernhagen, M., Pires, L., Oliveira, A., Paes-de-Almedia, V., Manfron, J., Carvalho, R. I., Carvalho, A., Brentan, D., Botelho, E. L., Dalsente, P. R., & Casparoto, A. (2019). Ethnopharmacological approaches to *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaerth. Exploring cardiorenal effects from the Brazilian Cerrado. *Journal of Ethnopharmacology*, 28(238), 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.111873>
- Loza-Cornejo, S., Aparicio-Fernández, X., Patakfalvi, R. J. y Rosas-Saíto, G. H. (2017). Caracteres anatómicos y fitoquímicos del tallo y raíz de *Mammillaria uncinata* (Cactaceae). *Acta Botánica Mexicana*, 120, 21-30. <https://doi.org/10.21829/abm120.2017.1159>
- Lucena, A. (2020). Actividad biológica de *Tournefortia hirsutissima* sobre larvas de Spodoptera frugiperda. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Biológicas, Cuernavaca, Morelos 58 Pp. [En línea]. Disponible en: <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3241/LUCAVZ09.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de consulta: 3 de mayo de 2024.
- Luna-Rodríguez, A. K., Zenil-Zenil, M. A., Cristians, S., Osuna-Fernández, A. M., & Osuna-Fernández, H. R. (2022). Evaluation for the hypoglycemic effect of *Tectaria heracleifolia* (Willd.) under in mice with induced type 2 diabetes. *Polibotánica*, 54, 203-217. <https://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n54/1405-2768-polib-54-203.pdf>
- Lustre, H. (2022). Los superpoderes de las plantas: los metabolitos secundarios en su adaptación y defensa. *Revista Digital Universitaria*, 23(2), 1-8. <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.10>
- Luz, D. A., Pinheiro, A. M., Silva, M. L., Monteiro, M. C., Prediger, R. D., Ferraz-Maia, C. S., & Fontes-Júnior, E. A. (2016). Ethnobotany, phytochemistry and neuropharmacological effects of *Petiveria alliacea* L. (Phytolaccaceae): A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 185, 182-201. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.02.053>
- Marie-Magdeleine, C., Udino, L., Philibert, L., Bocache, B., & Archimede, H. (2014). *In vitro* effects of *Musa x paradisiaca* extracts on four developmental stages of *Haemonchus contortus*. *Research in Veterinary Science*, 96(1), 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.12.004>
- Martin, D. A. (2017). Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *RIAA*, 9(1), 81-103. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Matrose, N. A., Obikeze, K., Belay, Z. A., & Caleb,

- O. J. (2021). Impact of spatial variation and extraction solvents on bioactive compounds, secondary metabolites and antifungal efficacy of South African Impepho [*Helichrysum odoratissimum* (L.) Sweet]. *Food Bioscience*, 42, 101139. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101139>
- Montoya, E. (2022). Actividad biológica de los grupos de metabolitos secundarios presentes en las pteridofitos *Goniopteris stolzeana* (AR Sm.) salino y TE *Alemida y Adiantum amplum* C Presi. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 172 Pp. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/368461548_Acividad_biologica_de_los_grupos_de_metabolitos_secundarios_presentes_en_los_pteridofitos_Goniopteris_stolzeana_y_Adiantum_amplum. Fecha de consulta: 23 de febrero de 2024.
- Morais-Braga, M. F. B., Souza, T. M., Santos, K. K. A., Guedes, G. M. M., Andrade, J. C., Vega, C., Rolón, M., Costa, J. G. M., Saraiva, A. F., & Coutinho, H. D. M. (2013). Phenol composition, cytotoxic and anti-kinetoplastidae activities of *Lygodium venustum* SW. (Lygodiaceae). *Experimental Parasitology*, 134(2), 178-182. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2013.03.014>
- Morales, Q. N. (2018). Estudio fitoquímico e identificación de compuestos antimicrobianos de dos plantas de la familia *Commelinaceae*. Tesis de Maestría en Ciencias en Biotecnología aplicada. IPN-CIBA Tlaxcala, México. [En línea]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27222/QUETZALI%20NICTE%20MORALES%20ORABANALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de consulta: 23 de marzo de 2024.
- Morales-Ubaldo, Y., Rivero-Pérez, N., Morales-Ubaldo, A. L., Valladares-Carranza, B., López-Rodríguez, G. M. y Zaragoza-Bastida, A. (2022). Dalea bicolor: Una alternativa para el tratamiento de bacterias de importancia en salud pública. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(6), 1-6. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v33i6.22863>
- Morón, F., Victoria, M. C., Morejón, Z., López, M., García, A. I., Fuentes, V., Robineau, L. y Campo, C. (2008). Tamizaje fitoquímico, actividad analgésica y antiinflamatoria de decocción de *Costus pictus* D. Don. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 13(4), [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962008000400013&lng=es&tlng=es. Fecha de consulta: 3 de enero de 2024.
- Navarro, L. G., Agosto, J. G., & Nolasco, H. (2023). Composición fitoquímica y propiedades antioxidantes de la planta mala madre (*Kalanchoe pinnata*). *South Florida Journal of Development*, 481, 201-214. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n1-014>
- Ndam, L. M., Ngone, A. M., Nkongho, R. N., Fongod, A. G., Tening, A. S., & Fujii, T. (2021). Allelopathic potentiality of *Euphorbia hypoeicifolia* L. on germination and seedling development of sympatric crops and weeds. *International Annals of Science*, 10(1), 134-150. <https://doi.org/10.21467/ias.10.1.134-150>
- Nirmala, C., Shahar, B., Dolma, N., Santosh, O. (2022). Promising underutilized wild plants of cold desert Ladakh, India for nutritional security and health benefits. *Applied Food Research*, 2(2), 100145. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100145>.
- Omokolo, N. D., Boudjeko, T., & Whitehead, C. S. (2005). Comparative analyses of alterations in carbohydrates, amino acids, phenols and lignin in roots of three cultivars of *Xanthosoma sagittifolium* infected by *Pythium myriotylum*. *South African Journal of Botany*, 71(3-4), 432-440. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30596-2](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30596-2)
- Ouakouak, H., Benchikha, N., Hassani, A., & Ashour, M. L. (2019). Chemical composition and biological activity of *Mentha citrata* Ehrh esencial oils growing in douthern Algeria. *Journal of Food Science and Technology*, 56(12), 346-535. <https://doi.org/10.1007%2Fs13197-019-04005-z>
- Osuna, A. M. (2015). Inexistentes las estrategias de cultivo para plantas y árboles medicinales, en *Boletín UNAM*. [En línea]. Disponible en: <https://www.comunicacionsocial.uam.mx/boletinesuam/124-15.html>. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2024.
- Pérez-Méndez, R., Jiménez-Quesada, K. y Garro-Monge, G. (2022). Cultivo *in vitro* de raíces pilosas del arbusto *Phyllanthus acuminatus* (Phyllanthaceae). *Revista de Biología Tropical*, 70(1), 647-657. <http://dx.doi.org/10.15517/rev.biol.trop.2022.49227>
- Picking, D., Delgoda, R., Boulogne, I., & Mitchell, S. (2013). *Hyptis verticillata* Jacq: A review of its traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicology. *Journal of Ethnopharmacology*, 147(1), 16-41. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.01.039>
- Priya, S. & Serva, M. (2023). Physicochemical characterization, polyphenols and flavonoids of

different extracts from leaves of four varieties of tulsi (*Ocimum sp.*). *South African Journal of Botany*, 159, 381-395. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.025>

Quian, L., Chunhong, Z., Huiyong, F., & Leati, L. (2023). Indispensable biomolecules for plants defense against pathogens: NBS-LRR and “nitrogen pool” alkaloids. *Plant Science*, 334, 111752. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2023.111752>

Romo-Rico, J., Murali, S., Basaka, K., Golledge, J., & Jacob, M. (2022). Potential of plant secondary metabolite-based polymers to enhance wound healing. *Acta Biomaterialia*, 147, 34-49. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.05.043>

Ruiz-Cancino, A., Cano, A. E., & Delgado, G. (1993). Sesquiterpene lactones and flavonoids from *Artemisia ludoviciana ssp. mexicana*. *Phytochemistry*, 33(5), 1113-1115. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(93\)85032-M](https://doi.org/10.1016/0031-9422(93)85032-M)

Santos, P. C., Oliveria, f., Bronzel, J. L., Payarini, R., Pereira, G. M., Chorilli, M., Reis, C., Pereira, L., & Gonzalves, R. M. (2022). Insecticidal activity of *Tagetes erecta* and *Tagetes patula* extracts and fractions free and microencapsulated. *Biocatalysis in Agricultural Biotechnology*, 45, 102511. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102511>

Senthil-Nathan, S., Park, S. U., & Day, B. (2022). Plant secondary metabolites as bioactive substance for the sustainable agriculture. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 121, 101890. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2022.101890>

Silva, M., Terra, W. R., & Ferreira, C. (2006). Absorption of toxic β -glucosides produced by plants and their effect on tissue trehalases from insects. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 143(3), 0-373. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2005.12.011>

Sivasamugham, L. A., Nimalan, V., & Subramaniam, G. (2021). Antibacterial effects of *Musa sp.* ethanolic leaf extracts against methicillin-resistant and susceptible *Staphylococcus aureus*. *Formerly Natural Product Letters*, 35, 107-110. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.09.007>

Soubedi, B., Poudel, A., & Aryal, S. (2023). The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100733. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100733>

Sun, Y. & Fernie, A. R. (2023). Plant secondary metabolism in a fluctuating world: climate change perspectives. *Trends in Plant Science*, 29(5), 560-571. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.11.008>

Suselo, Y. H., Indarto, D., Wasita, B., & Hartono, H. (2023). Alkaloid fraction of *Mirabilis jalapa* Linn. Flowers has low cytotoxicity and increases iron absorption through Erythropoietin-Matriptase-2-Hepcidin pathway in iron deficiency hepatocarcinoma cell model. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(1), 103508. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103508>

Tabarez, A. (2019). Evaluación de la actividad antioxidante de extractos y xantonas en un modelo químico y celular. [En línea]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/27338>. Fecha de consulta: 21 de enero de 2024.

Uysal, S., Gevrenova, R., Sinan, K. I., Bayarslan, A. U., Altunoglu, Y. C., Zheleva-Dimitrova, D., Ak, G., Baloglu, M., Etienne, O., Lobine, D., Mahomoodally, M., & Zengin, G. (2021). New perspectives into the chemical characterization of *Sida acuta* Burm. f. extracts with respect to its anti-cancer, antioxidant and enzyme inhibitory effects. *Process Biochemistry*, 105, 91-101. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.03.028>

Vanti, G. L., Kurjogi, M., Basavesha, K. N., Teraldal, N. L., Masaphy, S., & Nargund, V. B. (2019). Synthesis and antibacterial activity of solanum torvum mediated silver nanoparticle against *Xanthomonas axonopodis pv. punicae* and *Ralstonia solanacearum*. *Journal of Biotechnology*, 309, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.12.009>

Vargas, M. (2014). Actividad microbiana de extractos de chile (*Capsicum annum* L.) cultivado en invernadero empleando factores inductores de metabolitos (FIMs). Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro., 88 Pp. [En línea]. Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/792/1/RI003900.PDF>. Fecha de consulta: 17 de abril de 2024.

Yadav, B., Jogawat, A., Rahman, S., & Narayan, O. M. (2021). Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: A review. *Gene Reports*, 23, 101040. <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2021.101040>

Zachariah, S. M., Aleykutty, N. A., Viswanad, V., Jacob, S., & Prabhakar, V. (2011). In-vitro Antioxidant Potential of Methanolic Extracts of *Mirabilis*

lis jalapa Linn. *Free Radicals and Antioxidants*, 1(4), 82-86. <https://doi.org/10.5530/ax.2011.4.13>

Zhang, C. P., Zhang, J. L., Sun, Z. R., Liu, X. Y., Shu, L. Z., Wu, H., Song, Y., & He, D. H. (2022). Genome-wide identification and characterization of terpen synthases genes in *Gossypium hirsutum*. *Gene*, 828(20), 146462. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2022.146462>

Zhao, P., Iwamoto, Y., Kouno, I., Egami, Y., & Yamamoto, H. (2004). Stimulating the production of homoisoflavonoids in cell suspension cultures of *Caesalpinia pulcherrima* using cork tissue. *Phytochemistry*, 65(17), 2455-2461. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.08.004>

Zárate-Martínez, W., González-Morales, S., Ramírez-Godina, F., Robledo-Olivo, A. y Juárez-Maldonado, A. (2021). Efecto de los ácidos fenólicos en el sistema antioxidante de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 854-868 <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.45101>