

DE LA ETNOBOTÁNICA A LA NANOTECNOLOGÍA: ASTERACEAE COMO RECURSO ESTRATÉGICO PARA LA INNOVACIÓN

FROM ETHNOBOTANY TO NANOTECHNOLOGY:
ASTERACEAE AS A STRATEGIC RESOURCE FOR
INNOVATION

GARCÍA CONDE, Karen Berenice¹

CASTAÑEDA FACIO, Adalí Oliva¹

VARGAS SEGURA, Alejandra Isabel²

SÁENZ GALINDO, Aidé¹

RESUMEN

México es un país megadiverso con una gran riqueza botánica; entre sus grupos vegetales de interés destaca la familia Asteraceae, por su abundancia y su empleo en la medicina tradicional. Esta revisión analiza el potencial de las Asteraceae como fuente de compuestos bioactivos para aplicaciones nanotecnológicas, considerando su diversidad fitoquímica, que incluye flavonoides, terpenoides, lactonas sesquiterpénicas y ácidos fenólicos con actividades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas. Asimismo, se examinan las limitaciones de los extractos vegetales convencionales— inestabilidad, baja solubilidad y biodisponibilidad variable— y el aporte potencial de sistemas de nanoencapsulación, como nanoemulsiones, síntesis vesicular y nanopartículas. Finalmente, se discuten aplicaciones potenciales en biomedicina, alimentos, cosmética y biorremediación, así como los principales retos de estandarización, escalamiento y evaluación toxicológica.

Palabras clave: Asteraceae; compuestos bioactivos; nanotecnología; nanoencapsulación; medicina tradicional; etnobotánica.

1. Facultad de Ciencias Químicas,
Universidad Autónoma de
Coahuila. Saltillo, Coahuila,
México.
2. Facultad de Odontología,
Universidad Autónoma de
Coahuila. Saltillo, Coahuila,
México.

ABSTRACT

Mexico is a megadiverse country with a wealth of botanical resources; among its plant groups of interest, the Asteraceae family stands out due to its abundance and its use in traditional medicine. This review analyzes the potential of the Asteraceae as a source of bioactive compounds for nanotechnological applications, considering their phytochemical diversity, which includes flavonoids, terpenoids, sesquiterpene lactones, and phenolic acids with antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial activities. It also

Correspondencia
karengarciaconde@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-1207-2242>
Fecha de recepción
2 de junio de 2026.
Fecha de aceptación
26 de septiembre de 2026.

examines the limitations of conventional plant extracts—instability, low solubility, and variable bioavailability—and the potential contribution of nanoencapsulation systems, such as nanoemulsions, vesicular synthesis, and nanoparticles. Finally, potential applications in biomedicine, food, cosmetics, and bioremediation are discussed, as well as the main challenges related to standardization, scale-up, and toxicological evaluation.

Keywords: *Asteraceae; bioactive compounds; nanotechnology; nanoencapsulation; traditional medicine; ethnobotany.*

INTRODUCCIÓN

La ubicación latitudinal y la compleja topografía de México generan una marcada heterogeneidad ambiental que favorece la presencia de múltiples hábitats y una elevada diversidad biológica (Guzmán Gallardo, 2025). Esta diversidad de condiciones ecológicas ha posicionado al país entre los territorios con mayor biodiversidad, ocupando el cuarto lugar a nivel mundial (Salinas-Rodríguez et al., 2018).

Una fracción importante de la biodiversidad nacional corresponde a las plantas vasculares: se han estimado alrededor de 23,314 especies, incluidas 22,126 angiospermas, 1,039 helechos y licofitas, y 149 gimnospermas, distribuidas en 2854 géneros, 297 familias y 73 órdenes; entre 33 y 50 % son especies endémicas (Hufnagel et al., 2021; Salinas-Rodríguez et al., 2018; Villaseñor, 2016). De este conjunto, aproximadamente 3,000-5,000 especies se han registrado como plantas medicinales (Cilia-López et al., 2021a; Cupido et al., 2024; Sansores-España et al., 2022). Sin embargo, solo una proporción limitada, alrededor del 5 %, ha sido estudiado desde las perspectivas fitoquímicas, farmacológicas, farmacocinéticas y toxicológicas (Alonso-Castro et al., 2017; Rodríguez-Hernández et al., 2022).

El uso de plantas medicinales en México se basa en conocimientos empíricos transmitidos de generación en generación por campesinos y grupos indígenas (Cuevas-Cianca et al., 2023; Velázquez-Vázquez et al., 2019). En la actualidad, el uso de plantas medicinales ha cobrado relevancia por su eficacia frente a enfermedades infecciosas y no infecciosas, con una baja incidencia de efectos secundarios (Sharma et al., 2023; Velázquez-Vázquez et al., 2019).



Con 417 géneros y 3,113 especies, Asteraceae constituye uno de los grupos de mayor diversidad de la flora mexicana. Veracruz, Durango, Oaxaca, Chiapas y Tamaulipas concentran una proporción importante de los géneros registrados, lo que refleja la amplitud de distribución de la familia en el país (Cilia-López et al., 2021a; Villaseñor, 2018). Esta diversidad se acompaña de un amplio patrimonio etnobotánico: distintas especies se emplean tradicionalmente para tratar afecciones digestivas, respiratorias, urinarias, inflamatorias y odontológicas, entre otras (Konovalov, 2014).

Entre las especies de uso medicinal documentado se encuentran *Artemisia absinthium*, *A. ludoviciana*, *Bidens odorata*, *Calendula officinalis*, *Heliopsis longipes*, *Tagetes erecta*, *T. lucida* y *Tanacetum parthenium*; tradicionalmente se utilizan para el tratamiento de infecciones respiratorias, digestivas y urinarias, así como de enfermedades no infecciosas como padecimientos cardiovasculares, reumatismo, inflamaciones intestinales, dismenorrea y diabetes (Alonso-Castro et al., 2017; Barrera-Vázquez et al., 2023; Palacios-Espinosa et al., 2021; Rodríguez-Hernández et al., 2022). Sus usos tradicionales y las actividades biológicas reportadas se han relacionado con la presencia de lactonas sesquiterpénicas, polifenoles y aceites esenciales; dichos compuestos metabólicos justifican su interés como punto de partida para estudios farmacológicos y biotecnológicos (Kostić et al., 2020).

Además de su importancia en la medicina tradicional y en la investigación farmacológica, las especies de Asteraceae presentan un potencial de aprovechamiento en diversos ámbitos biotecnológicos e industriales. Esta versatilidad se relaciona con su riqueza fitoquímica y con la funcionalidad de sus metabolitos, los cuales han motivado la exploración de aplicaciones en sectores como el alimentario, el cosmético, el agrícola y el ambiental (Iannicelli et al., 2018; Kozuharova et al., 2026; Salehi et al., 2020).

Los extractos vegetales constituyen una vía de aprovechamiento de metabolitos bioactivos sin requerir necesariamente someter cada componente a procesos exhaustivos de purificación (Camel, 2014). Este enfoque puede contribuir a optimizar los costos de producción y favorecer la obtención de productos terapéuticos más accesibles para los pacientes y los sistemas de salud (Vargas et al., 2023). Sin embargo, la naturaleza multicomponente de los extractos, aunada a la variabilidad de su composición fitoquímica entre especies, la inestabilidad fisicoquímica, la baja biodisponibilidad, la baja

solubilidad en agua y la toxicidad potencial representan desafíos constantes que restringen su aplicación clínica (Lestari et al., 2023; Vargas et al., 2023).

Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias innovadoras que superen dichas limitaciones y potencien las capacidades terapéuticas de los extractos vegetales. La nanotecnología constituye una herramienta relevante para este propósito, ya que las técnicas de nanoencapsulación –como sistemas vesiculares, partículas lipídicas y nanoemulsiones– pueden mejorar la estabilidad, la solubilidad, la biodisponibilidad y la liberación controlada de los compuestos bioactivos de origen vegetal, aumentando su eficacia antimicrobiana y reduciendo la toxicidad (Dewi et al., 2022; Nayak et al., 2022; Sandhiya & Ubaidulla, 2020; Yien et al., 2023).

Esta revisión tiene como objetivo analizar el potencial nanotecnológico de la familia Asteraceae en sistemas nanoestructurados considerando sus propiedades fisicoquímicas, actividades biológicas y viabilidad para la nanoencapsulación. De esta manera, se busca establecer un puente entre el conocimiento etnobotánico tradicional mexicano y la bionanotecnología, con énfasis en el aprovechamiento de compuestos bioactivos de interés terapéutico.

METODOLOGÍA

Para la elaboración de este trabajo, se realizó una búsqueda de literatura científica en bases de datos especializadas como Google Académico, PubMed, SciELO, ScienceDirect y Scopus, que abarcó el periodo 2012–2026. La finalidad fue recopilar, organizar, analizar y sintetizar la información disponible sobre el potencial de la familia Asteraceae como fuente de compuestos bioactivos y su integración como sistemas nanotecnológicos.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

FAMILIA ASTERACEAE: ETNOBOTÁNICA Y APLICACIONES BIOACTIVAS EMERGENTES

Asteraceae se caracteriza por sus capítulos, estructuras que aparentan una sola flor, aunque están formadas por numerosas flores sésiles dispuestas sobre un receptáculo común y rodeadas por un involucre (figura 1) (Villaseñor, 2018). Esta organización floral permite distinguir a la familia dentro de la flora mexicana. Por otra parte, sus especies presentan una amplia diversidad de hábitos de crecimiento, que incluye árboles, arbustos, subarbustos, hierbas y enredaderas adaptadas a distintos hábitats (Sharma et al., 2022).

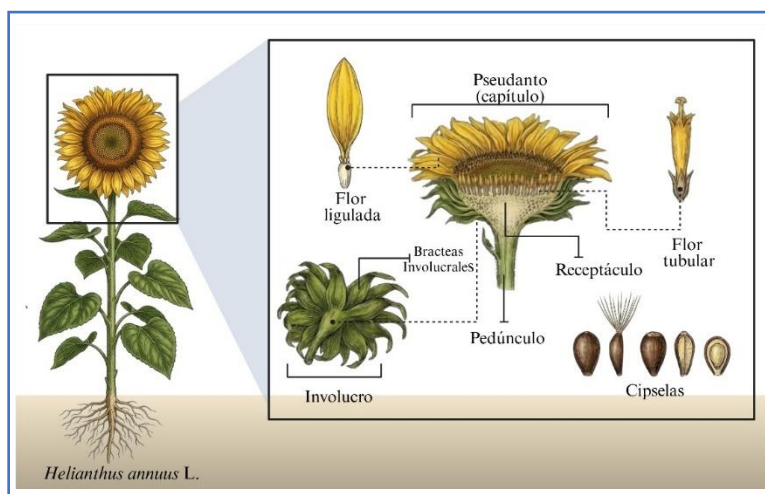


Figura 1. Estructura morfológica característica de las Asteraceae, ejemplificada en *Helianthus annuus* (girasol). Creada con BioRender (Acceso septiembre 2026).

El uso herbario de especies de Asteraceae tiene una larga trayectoria y se sustenta en una diversidad considerable de metabolitos secundarios; sin embargo, su estudio etnofarmacológico y su desarrollo comercial siguen siendo limitados (Panda et al., 2019). En México, el uso de plantas medicinales forma parte de prácticas prehispánicas que perduran (Martínez-González et al., 2024). Actualmente, entre el 20 % y el 39 % de la población utiliza medicinas herbales y recurre a prácticas indígenas de medicina tradicional (OMS, 2019). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que 170 países —que representan el 87,18 % de la población mundial— recurren a la medicina herbolaria como principal fuente de



atención médica, siendo el uso de productos fitoterapéuticos una práctica profundamente arraigada en la cultura de algunos países en desarrollo (Ekor, 2014; OMS, 2019).

Dentro de este contexto, numerosas especies de Asteraceae destacan por sus aplicaciones terapéuticas (tabla 1), atribuidas a sus propiedades antidiuréticas, antiinflamatorias, antihelmínticas, antipiréticas, cardiotónicas, carminativas, hematoprotectoras, así como al tratamiento contra enfermedades gastrointestinales, respiratorias y dentales (Cilia-López et al., 2021a; Reimers et al., 2019; Sharma et al., 2017).

Tabla 1. Ejemplos representativos de especies de Asteraceae y sus aplicaciones etnobotánicas.

Especie	Nombre común	Aplicación	Resultados
<i>Artemisia absinthium</i>	Ajenjo	Hígado inflamado, fiebre, digestión y parásitos intestinales.	(Ahamad et al., 2019; Szopa et al., 2020)
<i>Artemisia ludoviciana</i>	Estafiate	Estómago (cólicos, diarrea), diabetes y resfriado común.	(Fernández-Cortés et al., 2025)
<i>Calendula officinalis</i>	Caléndula	Lesiones cutáneas (heridas, acné), llagas bucales y dolor de muelas	(Sapkota & Kunwar, 2024)
<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	Gordolobo	Bronquitis, tos, infecciones urinarias.	(Heredia-Castro et al., 2022)
<i>Heliopsis longipes</i>	Chilcuague	Dolor de muelas y muscular, desparasitante.	(Cilia-López et al., 2021)
<i>Heterotheca inuloides</i>	Árnica	Moretones, golpes, reumatismo.	(Rodríguez-Chávez et al., 2017)
<i>Matricaria recutita</i>	Manzanilla	Inflamación, espasmos, úlceras, problemas gastrointestinales, dolor menstrual, dolor bucal e insomnio infantil.	(Mailänder et al., 2022)
<i>Montanoa frutescens</i>	Zaopatlle	Tuberculosis, tos, resfriado común, heridas de la piel, ansiedad y deficiencias reproductivas.	(Rodríguez-Landa et al., 2018)
<i>Tagetes erecta</i>	Cempasúchil	Cefalea, dolor muscular, dermatitis, lesiones cutáneas, verrugas.	(López Estrada et al., 2025)
<i>Tagetes lucida</i>	Yerbanís	Fiebre, diarrea, disentería, ansiedad y depresión	(Zarate-Escobedo et al., 2018)
<i>Tithonia diversifolia</i>	Chilicate	Malaria, abscesos, diabetes, sarampión, dolor menstrual, mordeduras de serpientes.	(Ajao & Moteetee, 2017)



El potencial terapéutico de las especies de Asteraceae se relaciona con su composición fitoquímica. Entre los grupos de compuestos reportados se encuentran los terpenoides —n particular los sesquiterpenoides—, ácidos fenólicos, alcaloides, compuestos fenólicos, compuestos volátiles y flavonoides (figura 2) (Bessada et al., 2015; Chadwick et al., 2013).

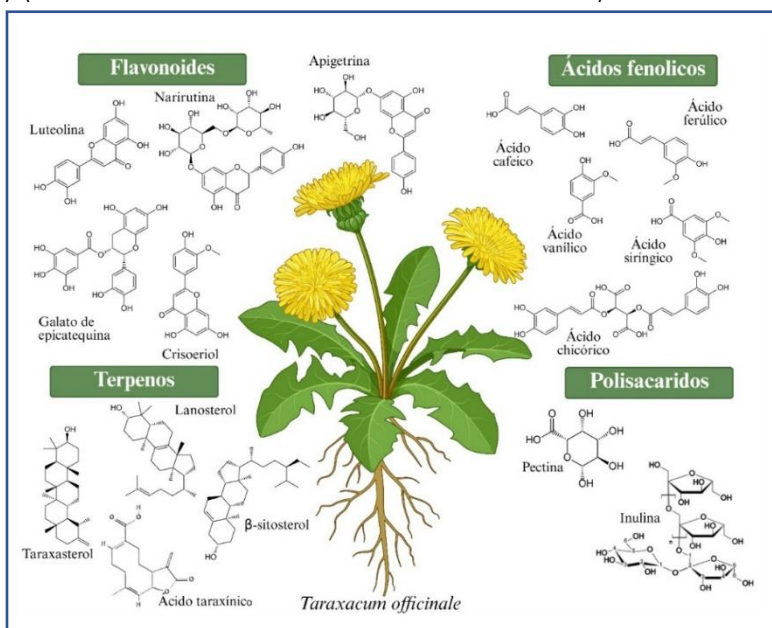


Figura 2. Composición fitoquímica de Asteraceae, tomando como modelo representativo a *Taraxacum officinale* (Rhayem et al., 2026; Fan et al., 2023). Creada con Biorender (Acceso Marzo 2026).

Esta diversidad química explica su amplio potencial bioquímico y farmacológico. La experiencia etnobotánica tradicional constituye una base estratégica para optimizar la investigación biotecnológica de Asteraceae (Cupido et al., 2024), desde una perspectiva integral que considere su hábitat natural, su valor genético intrínseco y su composición metabólica. Dicha caracterización biológica se complementa con su relevancia económica, evidenciada en sus aplicaciones industriales en los sectores agrícola, alimentario, cosmético y farmacéutico (tabla 2) (Iannicelli et al., 2018).



Tabla 2. Potencial de compuestos bioactivos de Asteraceae en aplicaciones emergentes.

Especie / Compuestos bioactivos	Aplicación y resultados	Referencia
<i>Artemisia ludoviciana</i> : Eupatilina, jaceosidina, arglanina, salvinina y ácido 3,5-dicafeoilquinico	Control de diabetes mellitus tipo 2: Reducción de la hipoglucemia	(Anaya-Eugenio et al., 2014)
<i>Bidens pilosa</i> : Flavonoides y ácidos fenólicos	Mastitis bovina: Inhibición y erradicación de biopelículas bacterianas	(Piccinin et al., 2022)
<i>Brickellia cavanillesii</i> : 12 compuestos fenólicos	Diabetes hepática: Incremento de la proteína relacionada con el transporte de glucosa	(Eshiet et al., 2014)
<i>Cichorium intybus</i> var. <i>foliosum</i> : Lactucina y lactocupicrina	Mejora sensorial en la industria alimentaria: Reducción del amargor mejorando aceptabilidad organoléptica de la planta	(De Bruyn et al., 2020)
<i>Gymnosperma glutinosum</i> : Ácido α -gymglu y β -ent-gymglu	Modulación de la respuesta inflamatoria: Inhibición parcial de los receptores de corticosteroides y sintasas de óxido de nítrico	(Pérez-Gutiérrez et al., 2025)
<i>Helianthus annuus</i> : Celulosa, lignina, hemicelulosa, proantocianidinas y ácido ferúlico	Desarrollo de biopelículas antioxidantes para empaque activo de alimentos: Mejora en la resistencia mecánica y reducción de la permeabilidad al vapor de agua	(De'Nobili et al., 2021)
<i>Heliopsis longipes</i> : Afinina	Control contra enfermedades cardiovasculares: Inducción de vasodilatación	(Castro-Ruiz et al., 2017)
<i>Mikania glomerata</i> y <i>M. laevigata</i> : Cumarina	Desinfección odontológica, (antibiofilm): Inhibición del crecimiento de <i>Streptococcus mutans</i> , aplicación en cepillos de dientes	(Lessa et al., 2012)
<i>Parthenium hysterophorus</i> : Partenina, ácido cafeico, ácido vainílico, ácido clorogénico y ácido parahidroxibenzoico	Control biológico (bioherbicida): Inhibición de la germinación y crecimiento vegetal	(Bashar et al., 2023)
<i>Taraxacum officinale</i> : Polifenoles	Cosmética: Aceleración del proceso fermentativo y potenciación de la capacidad antioxidante	(Kucharska et al., 2025)

NANOTECNOLOGÍA: PLATAFORMAS DE NANOENCAPSULACIÓN

En las últimas décadas, la nanotecnología se ha desarrollado como uno de los campos más prometedores, debido al estudio de materiales a escala nanométrica y sus extraordinarias propiedades —mejor solubilidad, mayor estabilidad, inhibición de la degradación de los compuestos bioactivos y mayor biodisponibilidad— en relación con estructuras a micro y macroescala (Jafari, 2017; Kamble et al., 2025).

La nanoencapsulación es una técnica mediante la cual compuestos sensibles se incorporan o confinan en una matriz/recubrimiento, a escala nanométrica, mediante métodos de nanoemulsificación, nanoestructuración o nanocompósitos (Onyeaka et al., 2022). Este proceso puede proteger los compuestos frente a factores de degradación o reacciones adversas, además de permitir el control de su liberación. Asimismo, la obtención de sistemas homogéneos puede favorecer una mayor eficiencia de encapsulación y el desarrollo de propiedades fisicoquímicas adecuadas (Kour et al., 2026). De acuerdo con la aplicación prevista, pueden emplearse diferentes sistemas de nanoencapsulación (tabla 3), entre ellos nanoliposomas, nanopartículas, nanoesferas, nanoemulsiones, nanococleados y micelas (Paredes et al., 2016).

Tabla 3. Plataformas de nanoencapsulación: ventajas, limitaciones y métodos de obtención.

Plataforma	Aspectos clave	Referencias
Nanoliposomas	Vesículas cerradas formadas por moléculas de fosfolípidos Ventajas: encapsulación de compuestos hidrofílicos e hidrofóbicos y biocompatibilidad relativa Limitaciones: agregación y coalescencia por interacciones electrostáticas fuertes Obtención: hidratación de película delgada, técnica de inyección de etanol o evaporación en fase inversa	(Aguilar-Pérez et al., 2020; Kamble et al., 2025)
Nanopartículas	Sistemas supramoleculares sólidos orgánicos e inorgánicos de 10-100 nm. Pueden presentarse como poliméricas, biológicas, lipídicas y metálicas. Ventajas: propiedades ajustables y liberación controlada Limitaciones: toxicidad que depende de su composición, de su comportamiento y de su estabilidad variables. Obtención: molienda mecánica, sonicación, coprecipitación o extractos biológicos	(Altammar, 2023; Khan et al., 2023; Parveen et al., 2016)
Nanoesferas	Matrices poliméricas de 10-200 nm, amorfas o cristalinas. Se clasifican en biodegradables (albúmina, gelatina, almidón, etc.), y no biodegradables (ácido poliláctico) Ventajas: mayor área superficial y respuesta rápida a estímulos Limitaciones: agregación, estabilidad fisiológica reducida y escalamiento complejo Obtención: emulsificación-evaporación, desolvatación o gelificación iónica.	(Pathak et al., 2019; Wang et al., 2012)
Nanoemulsiones	Gotas de 50-200 nm, estabilizadas por un surfactante que actúa como película interfacial entre los líquidos inmiscibles (aceite y agua) Ventajas: protección frente a la degradación y favorece la dispersión de compuestos lipofílicos. Limitaciones: maduración de Ostwald, floculación y coalescencia Obtención: emulsificación espontánea, inversión de fase por composición o homogeneización por ultrasonidos	(Mushtaq et al., 2023)
Nanocodados	Estructuras lipídicas multicapa enrolladas, inferiores a 500 nm Ventajas: liberación controlada, mejora de compuesto poco solubles y menor susceptibilidad a la oxidación protección Limitaciones: condiciones específicas de conservación, riesgo de agregación durante el almacenamiento Obtención: hidrogel, diálisis de calcio directo o sistema de emulsión acuosa-acuosa binaria	(Verekar et al., 2024)
Micelas	Sistemas autoensamblados núcleo-cubierta de 10-100 nm Ventajas: carga y liberación dirigida, biocompatibilidad y protección de compuestos Limitaciones: pobre solubilidad y baja estabilidad física <i>in vivo</i> Obtención: emulsión aceite/agua, película delgada o microemulsión	(Perumal et al., 2022)

NANOTECNOLOGÍA APLICADA A COMPUESTOS BIOACTIVOS DE ASTERACEAE

La versatilidad química de las especies de Asteraceae ha despertado interés en diversos campos de estudio por su potencial de aplicación y sus resultados prometedores. No obstante, su aprovechamiento enfrenta limitaciones que pueden agruparse en dos niveles interrelacionados. Por un lado, la variabilidad de los cultivos y de los extractos vegetales influye en la composición fitoquímica de la materia prima. Asimismo, los compuestos bioactivos presentan limitaciones asociadas con la degradación, la baja estabilidad fisicoquímica, la solubilidad reducida, la biodisponibilidad variable y las dificultades para su producción a gran escala (Dewi et al., 2022; Falzon & Balabanova, 2017).

En este contexto, la nanotecnología representa un área de oportunidad para mejorar el aprovechamiento de compuestos bioactivos de origen vegetal y ampliar sus posibilidades de aplicación (Dourado et al., 2026). Mediante el diseño de sistemas de nanoencapsulación y otras nanoestructuras, es posible favorecer la estabilidad fisicoquímica, la solubilidad, la biodisponibilidad y la liberación controlada de compuestos, optimizando su desempeño terapéutico (tabla 4) (Lv et al., 2024; Pérez Hernández et al., 2025; Yien et al., 2023).

Tabla 4. Potencial nanotecnológico de las Asteraceae: sistemas de nanoencapsulación, compuestos bioactivos y aplicaciones.

Especie	Sistema/ Aplicación	Referencias
<i>Achillea millefolium</i> : extractos acuosos/etanólicos (flavonoides, ácidos fenólicos y terpenos)	MgO NPs con actividad antimalárica frente a <i>Plasmodium falciparum</i> (acción antiplasmódica)	(Khamsehpour et al., 2025)
<i>Artemisia absinthium</i> : aceites esenciales	Nanococleados como tratamiento de la leishmaniasis causada por <i>Leishmania amazonensis</i>	(Tamargo et al., 2017)
<i>Artemisia annua</i> y <i>A. sieberi</i> : aceites esenciales	Nanoliposomas con potencial larvicide contra <i>Aedes aegypti</i> y <i>Anopheles stephensi</i>	(Sanei-Dehkordi et al., 2023)
<i>Arctium lappa</i> : extracto acuoso	AgNPs y AuNPs como antimicrobiano y biorremediación: inhibición de <i>E. coli</i> y <i>A. tumefaciens</i>	(Nguyen et al., 2018)
<i>Artemisia dracunculul</i> : aceite esencial (estragol, β -cis-ocimeno, β -trans-ocimeno, 1-limoneno)	Nanoemulsión aceite-agua como conservante natural en alimentos: actividad antioxidante y antimicrobiana (<i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> y <i>S. dysenteriae</i>)	(Azizkhani et al., 2020)
<i>Calendula officinalis</i> : polvo y aceite esencial	Nanopartículas matriz-reservorio (gelatina/colágeno) con efecto anticancerígeno: citotoxicidad selectiva frente al cáncer de mama y de hígado.	(Lam et al., 2014)
<i>Eclipta prostrata</i> : extracto acuoso (wedelolactona, luteolina y apigenina)	CaO NPs/enjuague bucal: actividad antimicrobiana (<i>E. faecalis</i> , <i>S. mutans</i> y <i>C. albicans</i>)	(Sanjana et al., 2025)
<i>Heterotheca inuloides</i> : extracto acuoso (flavonoides, sesquiterpenoides, triterpenoides y esteroides)	AgNPs para recubrimiento de suturas quirúrgicas actividad antimicrobiana (<i>S. aureus</i> y <i>E. coli</i>)	(Guadarrama-Reyes et al., 2019)
<i>Matricaria chamomilla</i> : aceite esencial ((Z)- β -farneseno, α -bisabolol, óxidos de bisabolol, camazuleno)	NPs de quitosano para tratamiento de leishmaniasis cutánea: actividad antiparasitaria frente a <i>Leishmania amazonensis</i>	(Karam et al., 2020)

De manera complementaria a la nanoencapsulación, la integración de la nanotecnología con la biotecnología —bionanotecnología— permite emplear



extractos vegetales no solo como materiales de interés biológico, sino también como componentes funcionales para la obtención de nanoestructuras. Bajo un enfoque alineado con los principios de la química verde, los metabolitos presentes en los extractos pueden actuar como agentes reductores y estabilizantes durante la síntesis de nanopartículas, lo que permite minimizar el uso de algunos precursores químicos convencionales (Filho & Backx, 2020). Por tanto, la incorporación de extractos vegetales en la síntesis de nanocompuestos debe evaluarse considerando tanto las condiciones de obtención como las propiedades fisicoquímicas del nanomaterial y su respuesta frente a los microorganismos (Backx et al., 2021).

VARIABILIDAD FITOQUÍMICA E IMPACTO EN LA SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS

La variabilidad química de los extractos vegetales, influida por factores ambientales, genéticos y de procesamiento, constituye uno de los principales desafíos para su estandarización y reproducibilidad (Yien et al., 2023). Aunque esta variabilidad puede afectar el desempeño de diferentes plataformas de nanoencapsulación, su impacto se observa de manera particularmente directa en la biosíntesis de nanopartículas (Jaison et al., 2023).

Figueiredo et al. (2008) señalan que la producción de metabolitos secundarios depende de la etapa de desarrollo de los órganos vegetales, del tipo de tejido, de la presencia de estructuras secretorias, de las condiciones climáticas, de la estación del año, de la variación geográfica, de los daños mecánicos o químicos y de las condiciones de almacenamiento, lo que genera diferencias marcadas incluso entre plantas de la misma especie.

El momento de cosecha es un factor fenológico determinante para orientar el uso funcional de la biomasa. Mandim et al. (2021), demostraron que el estado de madurez de *Cynara cardunculus* L. var. *atilis* modifica significativamente la composición fenólica y las propiedades biológicas del extracto. Las etapas tempranas presentaron el mayor contenido de polifenoles (hasta 101 mg/g de extracto), con niveles elevados de ácidos 5-O-cafeoilquínico y 1,5-di-O-cefaoilquínico, asociados a una fuerte actividad antioxidante y actividad antibacteriana contra *Bacillus cereus*. Las etapas intermedias exhibieron mayor potencial antiinflamatorio y citotóxico, mientras que en los estadios tardíos mostraron una reducción marcada en la diversidad fenólica y una disminución del rendimiento de extracción de al menos 50 %.

Aunado a la variación fenológica, la composición genética induce cambios sustanciales en la composición de la materia prima. En *Echinacea purpurea*, la duplicación cromosómica incrementa la biomasa y eleva los contenidos de



ácidos fenólicos en todos los órganos. Durante la floración (julio-agosto), los terpenoides muestran rendimientos superiores con valores de 4,14–4,71 g/planta frente a 3.80-4.23 g/planta en diploides. La actividad antioxidante es mayor en plantas tetraploides y se correlaciona significativamente con el contenido de ácido chicórico (Mei et al., 2020).

Los factores de estrés abiótico también modifican la acumulación de metabolitos (Petrova et al., 2024). En cultivos *in vitro* de *Silybum marianum*, la calidad espectral de la luz modula de manera marcada la biosíntesis de flavonolignanos y se correlaciona positivamente con el contenido de polifenoles totales, de flavonoides totales y con la actividad antioxidante (Younas et al., 2018).

Por su parte, las variaciones ecológicas y edáficas contribuyen de manera significativa a la plasticidad metabólica en las Asteraceae. En *Eclipta prostrata*, la exposición solar, el tipo de suelo y el cocultivo con *Arachis repens* incrementan la biosíntesis de ácidos clorogénicos, flavonoides O-glucosilados y cumestanos, sin correlación directa con la biomasa, lo que evidencia mecanismos adaptativos independientes del crecimiento vegetal (Fonseca et al., 2025).

Por otro lado, la elección de la técnica de extracción es una variable que influye en la solubilidad, la estabilidad, el rendimiento y la bioactividad del extracto (Sun et al., 2025). Variables como el solvente, la temperatura, el tiempo, el pH y el tamaño de partícula vegetal influyen directamente en la composición del extracto final (Ameer et al., 2017; Antony & Farid, 2022; Enaru et al., 2021; da Silva et al., 2016). Esta interacción de factores fenológicos, genéticos, ambientales y de procesamiento define el perfil fitoquímico final y condiciona la síntesis posterior de nanopartículas, afectando directamente la eficiencia de encapsulación, el potencial zeta, el tamaño y la estabilidad coloidal (Jaison et al., 2023; Yien et al., 2023).

Estudios como el de Velgosova et al. (2024) demuestran que la composición fitoquímica del extracto -determinada por la especie y tipo de biomaterial empleado- es un factor decisivo en la reducción y estabilidad de nanopartículas de plata (AgNPs). De manera complementaria, Rizki et al. (2026) reportaron que, aun bajo condiciones sintéticas idénticas, la selección del extracto vegetal produce nanopartículas con tamaños contrastantes, lo que evidencia que las diferencias en la capacidad reductora y estabilizante de cada extracto generan nanoestructuras no equivalentes incluso cuando los parámetros experimentales se mantienen constantes.

La variabilidad de tamaño de las nanopartículas se relaciona directamente con la estructura molecular de los fitoquímicos y con su eficiencia como agentes reductores y de recubrimiento (Baba et al., 2026). Khattak et al. (2019) confirmaron que la composición del extracto modula el crecimiento y

la morfología final de las AgNPs, mientras que Adewale et al. (2020) demostraron que el método de extracción y el contenido fenólico del extracto influyen directamente en el tamaño y la morfología de nanoformulaciones.

Las nanopartículas sintetizadas a partir de extractos vegetales presentan patrones de estabilidad coloidal y química superficial determinados por los metabolitos (generalmente fenoles, flavonoides, proteínas, polisacáridos y terpenoides) que se adsorben en la superficie. Estos biocompuestos actúan como agentes de recubrimiento, previniendo la agregación y modulando el potencial zeta. Valores superiores a 30 mV indican alta estabilidad, mientras que valores entre -20 y -30 mV reflejan una estabilidad moderada debida a la combinación de efectos electrostáticos y estéricos (Baba et al., 2026). Este principio se evidencia en las AgNPs sintetizadas con extracto de *Manikara zapota*, cuyo potencial zeta de -27,05 mV y tamaño de 9,62 nm le confieren estabilidad coloidal y funcionalidad como sonda colorimétrica, lo que demuestra que el perfil fitoquímico y la capacidad de adsorción superficial determinan tanto la estabilidad como las propiedades funcionales del nanosistema (Sahu et al., 2024). Resultados comparables fueron reportados por Mehdipour et al. (2024) en nanopartículas de zinc sintetizadas con extracto de *Lavandula stoechas*, donde el potencial zeta de -27,9 mV y un tamaño de 50 nm indican una estabilidad coloidal moderada, atribuible a la acción sinérgica de compuestos fitoquímicos como agentes estabilizantes por carga superficial y impedimento estérico. Por su parte, Tran et al. (2024) obtuvieron potenciales zeta de -42,2 mV y -62,6 mV en nanopartículas de óxido de zinc utilizando extracto de *Eclipta prostrata* y *Piper longum*, donde los valores de potencial zeta se correlacionaron con el contenido fenólico y de flavonoides de cada extracto. En conjunto, estos hallazgos reafirman que el perfil fitoquímico del extracto modula la carga superficial y, por ende, el grado de estabilidad coloidal de las nanopartículas.

Por consiguiente, controlar estrictamente los parámetros de síntesis y la variabilidad en la composición fitoquímica del extracto resulta indispensable para estandarizar las propiedades fisicoquímicas (tamaño y morfología), la estabilidad y la reproducibilidad de las nanoestructuras (Abegunde et al., 2024).

Aunque las nanopartículas mediadas por extractos vegetales — particularmente especies de la familia Asteraceae— muestran un gran potencial, su producción a gran escala enfrenta limitaciones asociadas a la variabilidad climática, las temporadas de cultivo y la interferencia de fitoquímicos (Jaison et al., 2023), factores que condicionan el rendimiento, la estabilidad y la purificación del producto final. Aun contando con formulaciones homogéneas, su escalamiento y transición al mercado requieren un riguroso control de calidad del material vegetal, así como el cumplimiento de estándares toxicológicos y regulatorios internacionales que garanticen su seguridad y reproducibilidad (Barhoum et al., 2022).



PRODUCCIÓN Y DESAFÍOS DE ESCALAMIENTO

La producción industrial de nanopartículas mediadas por especies de *Asteraceae* enfrenta obstáculos significativos derivados de la naturaleza biológica de la materia prima. Factores como las condiciones climáticas, las temporadas de cultivo y la disponibilidad de biomasa afectan la consistencia de los extractos vegetales, lo que dificulta la conservación de propiedades fisicoquímicas constantes entre lotes (Jaison et al., 2023). A ello se suman variables operativas —tiempo de reacción, pH, temperatura, uso de reactivos y consumo de energía— que, al trasladarse a sistemas de mayor volumen, generan pérdida de control y variabilidad de tamaño, morfología y rendimiento de las nanoestructuras (Jaison et al., 2023; Marchese Robinson et al., 2016). En nanomedicina y manufactura, este escalamiento representa uno de los cuellos de botella para la comercialización, ya que exige controles rigurosos y protocolos de preparación que aseguren la estabilidad y la reproducibilidad de los materiales (Feng et al., 2019; Sammasagi et al., 2025; Yien et al., 2023).

Para mitigar estas limitaciones, se requiere la estandarización de los extractos y la implementación de plataformas de química de flujo continuo, que permiten una síntesis más eficiente y controlada en periodos breves, reduciendo la variabilidad del proceso (Huanbutta et al., 2024; Kustiawan et al., 2024; Nature Nanotechnology, 2016; Patel & Sanap, 2026).

SEGURIDAD, TOXICIDAD Y ASPECTOS REGULATORIOS

Si bien la química verde ha transformado la síntesis de nanomateriales, la variabilidad inherente de los compuestos bioactivos y la falta de control estricto sobre los parámetros estructurales persisten incluso en sistemas de síntesis verde (Álvarez-Chimal et al., 2025; Osman et al., 2024).

Paralelamente, existen riesgos asociados a la nanotecnología para la salud humana y el medio ambiente. Debido a sus dimensiones nanométricas, estas estructuras pueden favorecer la penetración en el organismo y desencadenar afecciones respiratorias u otras patologías graves, mientras que la evidencia disponible sobre su acumulación y ecotoxicidad a largo plazo sigue siendo limitada (Pietroiusti et al., 2018). Aunque la caracterización fisicoquímica y los ensayos *in vitro* han permitido avances relevantes, la consolidación de estas nanoformulaciones se ve frenada por la incertidumbre toxicológica y las restricciones regulatorias vigentes (Islam et al., 2025; Yien et al., 2023).



PERSPECTIVAS FUTURAS

Aunque la nanoencapsulación de compuestos bioactivos de Asteraceae presenta resultados alentadores, su transición hacia la práctica clínica y los procesos de producción a gran escala requieren un enfoque integral y coordinado entre distintas áreas de investigación (Singh et al., 2024).

Para avanzar hacia aplicaciones reales, es necesario integrar estrategias de producción sostenible que reduzcan el consumo energético y la generación de residuos —en concordancia con los principios de la química verde—, junto con el aprovechamiento del conocimiento etnobotánico para orientar la selección de especies y compuestos. La articulación multidisciplinaria de estos elementos permitirá fortalecer el desarrollo de la bionanotecnología aplicada a la familia Asteraceae.

CONCLUSIONES

La familia Asteraceae representa un puente estratégico entre el conocimiento etnobotánico mexicano y la innovación nanotecnológica. Su riqueza fitoquímica —flavonoides, terpenoides, lactonas sesquiterpénicas y ácidos fenólicos— no solo respalda sus usos medicinales tradicionales, sino que también ofrece una plataforma versátil para el desarrollo de nanoformulaciones con aplicaciones en biomedicina, alimentos, cosmética y biorremediación.

No obstante, el tránsito de este potencial a productos reproducibles y seguros exige superar la variabilidad intrínseca de los extractos vegetales, la cual impacta directamente en la síntesis, estabilidad y desempeño de las nanoestructuras. Por ello, la estandarización fitoquímica, el control de los parámetros de extracción y síntesis, así como la evaluación toxicológica y el escalamiento bajo criterios de química verde se perfilan como condiciones indispensables para consolidar esta convergencia.

Así, la articulación entre el saber etnobotánico y la nanotecnología no solo amplía el horizonte de aprovechamiento de las Asteraceae, sino que constituye una vía sostenible para generar innovaciones terapéuticas y biotecnológicas con pertenencia cultural y ambiental.



AGRADECIMIENTOS

La autora agradece al SECIHTI por la beca otorgada con número 863323 y al Cuerpo Académico de Ciencia y Tecnología de Polímeros de la Facultad de Ciencias Químicas por el apoyo en la estancia posdoctoral en sus instalaciones.

REFERENCIAS

- Abegunde, S. M., Afolayan, B. O., & Ilesanmi, T. M. (2024). Ensuring sustainable plant-assisted nanoparticles synthesis through process standardization and reproducibility: Challenges and future directions – A review. *Sustainable Chemistry One World*, 3: 100014. DOI: 10.1016/j.scowo.2024.100014.
- Adewale, O. B., Egbeyemi, K. A., Onwuelu, J. O., Potts-Johnson, S. S., Anadozie, S. O., Fadaka, A. O., Osukoya, O. A., Aluko, B. T., Johnson, J., Obafemi, T. O., & Onasanya, A. (2020). Biological synthesis of gold and silver nanoparticles using leaf extracts of *Crassocephalum rubens* and their comparative in vitro antioxidant activities. *Heliyon*, 6(11): e05501. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05501.
- Aguilar-Pérez, K. M., Avilés-Castrillo, J. I., Medina, D. I., Parra-Saldivar, R., & Iqbal, H. M. N. (2020). Insight Into Nanoliposomes as Smart Nanocarriers for Greening the Twenty-First Century Biomedical Settings. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8: 579536. DOI: 10.3389/fbioe.2020.579536.
- Ahamad, J., Mir, S. R., & Amin, S. (2019). A pharmacognostic review on *Artemisia absinthium*. *International Research Journal of Pharmacy*, 10(1): 25–31. DOI: 10.7897/2230-8407.10015.
- Ajao, A. A., & Moteetee, A. N. (2017). *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. (Asteraceae: Heliantheae), an invasive plant of significant ethnopharmacological importance: A review. *South African Journal of Botany*, 113: 396–403. DOI: 10.1016/j.sajb.2017.09.017.
- Alonso-Castro, A. J., Zapata-Morales, J. R., Ruiz-Padilla, A. J., Solorio-Alvarado, C. R., Rangel-Velázquez, J. E., Cruz-Jiménez, G., Orozco-Castellanos, L. M., Domínguez, F., Maldonado-Miranda, J. J., Carranza-Álvarez, C., Castillo-Pérez, L. J., Solano, E., Isiodia-Espinoza, M. A., del Carmen Juárez-Vázquez, M., Argueta-Fuertes, M. A., González-Sánchez, I., & Ortiz-Andrade, R. (2017). Use of medicinal plants by health professionals in Mexico. *Journal of Ethnopharmacology*, 198: 81–86. DOI: 10.1016/j.jep.2016.12.038.

- Altammar, K. A. (2023). A review on nanoparticles: characteristics, synthesis, applications, and challenges. *Frontiers in Microbiology*, 14: 1155622. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1155622.
- Álvarez-Chimal, R., Arenas-Alatorre, J. Á., Marichi-Rodríguez, F., Correa-Prado, R., & Álvarez-Pérez, M. A. (2025). La química verde en la síntesis de nanopartículas y sus propiedades antibacterianas. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 18(34): e69826. DOI: 10.22201/ceiich.24485691e.2025.34.69826.
- Ameer, K., Shahbaz, H. M., & Kwon, J. H. (2017). Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their Byproducts: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2): 295–315. DOI: 10.1111/1541-4337.12253.
- Anaya-Eugenio, G. D., Rivero-Cruz, I., Rivera-Chávez, J., & Mata, R. (2014). Hypoglycemic properties of some preparations and compounds from *Artemisia ludoviciana* Nutt. *Journal of Ethnopharmacology*, 155(1): 416–425. DOI: 10.1016/j.jep.2014.05.051.
- Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. *Applied Sciences*, 12(4): 2107. DOI: 10.3390/app12042107
- Azizkhani, M., Jafari Kiasari, F., Tooryan, F., Shahavi, M. H., & Partovi, R. (2020). Preparation and evaluation of food-grade nanoemulsion of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) essential oil: antioxidant and antibacterial properties. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4): 1341–1348. DOI: 10.1007/s13197-020-04645-6.
- Baba, I. A., Awe, O. B., Mustapha, S., Abubakar, M. A., Abdulkareem, A. S., Tijani, J. O., & Obayomi, K. S. (2026). Influence of plant-derived extracts on the synthesis, physicochemical properties, and applications of metal and metal oxide nanoparticles. *Hybrid Advances*, 13: 100666. DOI: 10.1016/j.hybadv.2026.100666.
- Backx, B. P., Santos, M. S. dos, Santos, O. A. L. dos, & Filho, S. A. (2021). The Role of Biosynthesized Silver Nanoparticles in Antimicrobial Mechanisms. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 22(6): 762–772. DOI: 10.2174/1389201022666210202143755.
- Barhoum, A., García-Betancourt, M. L., Jeevanandam, J., Hussien, E. A., Mekkawy, S. A., Mostafa, M., Omran, M. M., Abdalla, M. S., & Bechelany, M. (2022). Review on Natural, Incidental, Bioinspired, and Engineered Nanomaterials: History, Definitions, Classifications, Synthesis, Properties, Market, Toxicities, Risks, and Regulations. *Nanomaterials*, 12(2): 177. DOI: 10.3390/nano12020177.
- Barrera-Vázquez, O. S., Montenegro-Herrera, S. A., Martínez-Enríquez, M. E., Escobar-Ramírez, J. L., & Magos-Guerrero, G. A. (2023). Selection of Mexican Medicinal Plants by Identification of Potential Phytochemicals with Anti-Aging, Anti-Inflammatory, and Anti-Oxidant Properties through Network Analysis and



Chemoinformatic Screening. *Biomolecules*, 13(11): 1673. DOI: 10.3390/biom13111673.

- Bashar, H. M. K., Juraimi, A. S., Ahmad-Hamdani, M. S., Uddin, K., Asib, N., Anwar, P., Rahaman, F., Haque, M. A., & Hossain, A. (2023). Evaluation of allelopathic effects of *Parthenium hysterophorus* L. methanolic extracts on some selected plants and weeds. *PLOS ONE*, 18(1): e0280159. DOI: 10.1371/journal.pone.0280159.
- Bessada, S. M. F., Barreira, J. C. M., & Oliveira, M. B. P. P. (2015). Asteraceae species with most prominent bioactivity and their potential applications: A review. *Industrial Crops and Products*, 76: 604–615. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.07.073.
- Biorender, & Garcia-Conde, K. B. (2026). Composición fitoquímica de Asteraceae, tomando como modelo representativo a *Taraxacum officinale*. <https://biorender.com/yfp971s>
- Biorender, & Garcia-Conde, K. B. (2026). Estructura morfológica característica de Asteraceae, ejemplificada con *Helianthus annuus* L. (girasol). <https://biorender.com/kby87fc>
- Camel, V. (2014). Extraction Methodologies in Plants: General Introduction. In R. A. Mayers (Ed.), *Encyclopedia of Analytical Chemistry* (pp. 1–26). DOI: 10.1002/9780470027318.a9902.
- Castro-Ruiz, J. E., Rojas-Molina, A., Luna-Vázquez, F. J., Rivero-Cruz, F., García-Gasca, T., & Ibarra-Alvarado, C. (2017). Affinin (Spilanthol), Isolated from *Heliopsis longipes*, Induces Vasodilation via Activation of Gasotransmitters and Prostacyclin Signaling Pathways. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(1): 218. DOI: 10.3390/ijms18010218.
- Chadwick, M., Trewin, H., Gawthrop, F., & Wagstaff, C. (2013). Sesquiterpenoids Lactones: Benefits to Plants and People. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(6): 12780. DOI: 10.3390/ijms140612780.
- Cilia-López, V. G., Cariño-Cortés, R., & Zurita-Salinas, L. R. (2021). Ethnopharmacology of the Asteraceae Family in Mexico. *Botanical Sciences*, 99(3): 455–486. DOI: 10.17129/botsci.2715.
- Cuevas-Cianca, S. I., González-Campos, R. E., Mejía Méndez, J. L., Sánchez Arreola, E., Juárez, Z. N., & Hernández, L. R. (2023). Anticancer Properties of Mexican Medicinal Plants: An Updated Review. *Natural Product Communications*, 18(7):1-14. DOI: 10.1177/1934578X231187458.
- Cupido, M., De-Nova, J. A., & Cilia-López, V. G. (2024). Evolutionary approaches in ethnobotany of medicinal plants and bioprospecting. *Botanical Sciences*, 102(1): 26–38. DOI: 10.17129/botsci.3325.
- da Silva, R. P. F. F., Rocha-Santos, T. A. P., & Duarte, A. C. (2016). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 76: 40–51. DOI: 10.1016/j.trac.2015.11.013.



- De Bruyn, C., Ruttink, T., Eeckhaut, T., Jacobs, T., De Keyser, E., Goossens, A., & Van Laere, K. (2020). Establishment of CRISPR/Cas9 Genome Editing in Witlof (*Cichorium intybus* var. *foliosum*). *Frontiers in Genome Editing*, 2: 604876. DOI: 10.3389/fgeed.2020.604876.
- DeNobili, M. D., Bernhardt, D. C., Basanta, M. F., & Rojas, A. M. (2021). Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seed Hull Waste: Composition, Antioxidant Activity, and Filler Performance in Pectin-Based Film Composites. *Frontiers in Nutrition*, 8: 777214. DOI: 10.3389/fnut.2021.777214.
- Dewi, M. K., Chaerunisa, A. Y., Muhaimin, M., & Joni, I. M. (2022). Improved Activity of Herbal Medicines through Nanotechnology. *Nanomaterials*, 12(22): 4073. DOI: 10.3390/nano12224073.
- Dourado, D., Formiga, F. R., Alencar, É. do N., & Reynaud, F. (2026). Advances in nanotechnology applied to natural products. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 17(1): 555–558. DOI: 10.3762/bjnano.17.36.
- Ekor, M. (2014). The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. *Frontiers in Pharmacology*, 4: 177. DOI: 10.3389/fphar.2013.00177.
- Enaru, B., Dretcanu, G., Pop, T. D., Stănilă, A., & Diaconeasa, Z. (2021). Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. *Antioxidants*, 10(12): 1967. DOI: 10.3390/antiox10121967.
- Eshiet, E. R., Zhu, J., & Smith, E. E. (2014). Lyophilized Tea Extracts of *Brickellia cavanillesii* (Asteraceae): In Vitro Characterization of Biological Activity. *Journal of Food Science*, 79(7): T1454–T1461. DOI: 10.1111/1750-3841.12519.
- Falzon, C. C., & Balabanova, A. (2017). Phytotherapy: An Introduction to Herbal Medicine. *Primary Care - Clinics in Office Practice*, 44(2): 217–227. DOI: 10.1016/j.pop.2017.02.001.
- Fan, M., Zhang, X., Song, H., & Zhang, Y. (2023). Dandelion (*Taraxacum* Genus): A Review of Chemical Constituents and Pharmacological Effects. *Molecules*, 28(13): 5022. DOI: 10.3390/molecules28135022.
- Feng, J., Markwalter, C. E., Tian, C., Armstrong, M., & Prud'Homme, R. K. (2019). Translational formulation of nanoparticle therapeutics from laboratory discovery to clinical scale. *Journal of Translational Medicine*, 17(1): 200. DOI: 10.1186/s12967-019-1945-9.
- Fernández-Cortés, J. M., Balderas-Robles, A. A., Dufoo-Hurtado, E., Ramírez-Jiménez, A. K., Ruiz-Campos, G., Madariaga-Navarrete, A., Sharma, A., & Angulo-Bejarano, P. I. (2025). Micropropagation and Phytochemical Characterization of *Artemisia ludoviciana* Nutt.: Antioxidant Activity and Phenolic Profiles. *Plants*, 14(24): 3781. DOI: 10.3390/plants14243781.

- Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., & Scheffer, J. J. C. (2008). Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(4): 213–226. DOI: 10.1002/ffj.1875.
- Filho, S. A., & Backx, B. P. (2020). Nanotecnologia e seus impactos na sociedade. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 16(40): 1–15. <https://doi.org/10.3895/rt.s.v16n40.9870>.
- Fonseca, S. T. D. da, Pereira, A. M. S., & Lopes, N. P. (2025). Secondary Metabolite Plasticity in *Eclipta prostrata* (L.) L. (Asteraceae) under Environmental and Biological Stressors. *ACS Omega*, 10(51): 62916. DOI: 10.1021/acsomega.5c08697.
- Guadarrama-Reyes, S. C., Morales-Luckie, R. A., Sánchez-Mendieta, V., González-Pedroza, M. G., Lara-Carrillo, E., Velazquez-Enriquez, U., Toral-Rizo, V., & Scougall-Vilchis, R. (2019). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Heterotheca inuloides* and Its Antimicrobial Activity in Catgut Suture Threads. In S.M. Averamescu, K. Akhtar, I. Fierascu, S. B. Khan, F. Ali & A. M. Asiri (Eds.), *Engineered Nanomaterials - Health and Safety*. [En línea]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/69471>. Fecha de consulta: 18 de septiembre del 2026
- Guzmán Gallardo, F. L. (2025). Comprensión biocultural de las plantas medicinales en México. *Mexican Journal of Medical Research ICsa*, 13(25): 81–85. DOI: 10.29057/mjmr.v13i25.12390.
- Heredia-Castro, P. Y., García-Baldenegro, C. V., Espinosa, A. S., de Jesús Tolano-Villaverde, I., Manzanares-Quin, C. G., Valdez-Domínguez, R. D., Ibarra-Zazueta, C., Osuna-Chávez, R. F., Rueda-Puente, E. O., Hernández-Moreno, C. G., Barrales-Heredia, S. M., & Sosa-Castañeda, J. (2022). Perfil fitoquímico, actividad antimicrobiana y antioxidante de extractos de *Gnaphalium oxyphyllum* y *Euphorbia maculata* nativas de Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(4): 928–942. DOI: 10.22319/rmcp.v13i4.6042.
- Huanbutta, K., Suwanpitak, K., Weeranoppanant, N., Sriamornsak, P., Garg, K., Sharma, S., Singh, I., & Sangnim, T. (2024). Continuous flow synthesis: A promising platform for the future of nanoparticle-based drug delivery. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 91: 105265. DOI: 10.1016/j.jddst.2023.105265.
- Hufnagel, L., Mics, F., Hufnagel, L., & Mics, F. (2021). Introductory Chapter: Biodiversity of Mexico. In L. Hufnagel (Ed.), *Natural History and Ecology of Mexico and Central America*. [En línea]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/77384>. Fecha de consulta: 14 de abril del 2026.
- Iannicelli, J., Guariniello, J., Álvarez, S. P., & Escandón, A. (2018). Usos tradicionales, estado de conservación y avances biotecnológicos para un grupo de plantas aromáticas / medicinales nativas de América. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 17(5): 453–491.
- Jaison, J. P., Balasubramanian, B., Gangwar, J., James, N., Pappuswamy, M., Anand, A. V., Al-Dhabi, N. A., Valan Arasu, M., Liu, W. C., & Sebastian, J. K. (2023). Green



Synthesis of Bioinspired Nanoparticles Mediated from Plant Extracts of Asteraceae Family for Potential Biological Applications. *Antibiotics*, 12(3): 543. DOI: 10.3390/antibiotics12030543.

- Kamble, M. G., Singh, A., Singh, S. V., Kamble, M. G., Sagar, N. A., & Rani, N. (2025). Nanotechnology for encapsulation of bioactive components: a review. *Discover Food*, 5(1): 116. DOI: 10.1007/s44187-025-00386-7.
- Karam, T. K., Ortega, S., Ueda Nakamura, T., Auzély-Velly, R., & Nakamura, C. V. (2020). Development of chitosan nanocapsules containing essential oil of *Matricaria chamomilla* L. for the treatment of cutaneous leishmaniasis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162: 199–208. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.06.149.
- Khamsehpour, N., Hanifian, H., Nateghpour, M., Raeisi, A., Shabani, M., Hasanpour, G., Khezri, A., Dehdast, S. A., Farivar, L., & Shahsavari, S. (2025). Antiplasmodial Activity of Green-Synthesized MgO Nanoparticles Using *Achillea millefolium* Against Chloroquine-Resistant and-Sensitive *Plasmodium falciparum*. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 17(4): 249. DOI: 10.18502/ajmb.v17i4.20071.
- Khan, S., Wong, A., Zeb, S., Mortari, B., Villa, J. E. L., & Sotomayor, M. D. P. T. (2023). Characterization of polymeric nanoparticles. In N. Ali, M. Bilal, A. Khan, T. A. Nguyen & R. K. Gupta (Eds.), *Smart Polymer Nanocomposites: Design, Synthesis, Functionalization, Properties, and Applications*. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323916110000037?via%3Dihub>. Fecha de consulta: 18 de septiembre del 2026
- Khattak, A., Ahmad, B., Rauf, A., Bawazeer, S., Farooq, U., Ali, J., Patel, S., El-Sharkawy, E. R., Ikram, R., & Linfang, H. (2019). Green synthesis, characterisation and biological evaluation of plant-based silver nanoparticles using *Quercus semecarpifolia* Smith aqueous leaf extract. *IET Nanobiotechnology*, 13(1): 36–41. <https://doi.org/10.1049/IET-NBT.2018.5063>.
- Konovalov, D. A. (2014). Polyacetylene Compounds of Plants of the Asteraceae Family (Review). *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 48(9): 613–631. <https://doi.org/10.1007/s11094-014-1159-7>.
- Kostić, A., Janačković, P., Kolašinac, S. M., & Dajić Stevanović, Z. P. (2020). Balkans' Asteraceae Species as a Source of Biologically Active Compounds for the Pharmaceutical and Food Industry. *Chemistry & Biodiversity*, 17(6): 36-41. DOI: 10.1002/cbdv.202000097.
- Kour, K., Bandral, J. D., Sood, M., & Bashur, M. (2026). Nanoencapsulation in Food Systems: Techniques, Applications, Challenges and Future Perspectives. *Chemical Science Review and Letters*, 15(57): 1–5. DOI:10.37273/chesci.cs1720561101.
- Kozuharova, E., Malfa, G. A., Acquaviva, R., Spadaro, V., Ionkova, I., Statti, G., & Raimondo, F. M. (2026). The Wild Plants from the Family Asteraceae That Are Traditionally Used



for Food in Sicily and Bulgaria and Their Health Benefits. *Foods*, 15(6): 988. DOI: 10.3390/foods15060988.

Kucharska, E., Wachura, D., Elchiev, I., Bilewicz, P., Gąsiorowski, M., & Pelech, R. (2025). Co-Fermentation of Dandelion Leaves (*Taraxaci folium*) as a Strategy for Increasing the Antioxidant Activity of Fermented Cosmetic Raw Materials—Current Progress and Prospects. *Applied Sciences*, 15(16): 9021. DOI: 10.3390/app15169021.

Kustiawan, P. M., Syaifie, P. H., Siregar, K. A. A. K., Ibadillah, D., & Mardiyati, E. (2024). New insights of propolis nanoformulation and its therapeutic potential in human diseases. *ADMET and DMPK*, 12(1): 1–26. DOI: 10.5599/ADMET.2128.

Lam, P. L., Kok, S. H. L., Bian, Z. X., Lam, K. H., Tang, J. C. O., Lee, K. K. H., Gambari, R., & Chui, C. H. (2014). D-glucose as a modifying agent in gelatin/collagen matrix and reservoir nanoparticles for *Calendula officinalis* delivery. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 117: 277–283. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2014.02.041.

Lessa, F. C. R., Grillo, C. H. B., Pinto, F. E., Lorençon, B. B., Martins, J. D. L., Bertolucci, S. K. V., Pinto, J. E. B. P., & Endringer, D. C. (2012). Efficacy of guaco mouthwashes (*Mikania glomerata* and *Mikania laevigata*) on the disinfection of toothbrushes. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 22(6): 1330–1337. DOI: 10.1590/S0102-695X2012005000115.

Lestari, U., Muhaimin, M., Chaerunisa, A. Y., & Sujarwo, W. (2023). Improved Solubility and Activity of Natural Product in Nanohybrid. *Pharmaceuticals*, 16(12): 1701. DOI: 10.3390/ph16121701.

Lopes, B. A., Boscardin, P. D., & Campos, P. M. (2023). Development and Characterization of Nanoemulsion Containing Volatile Oil of *Matricaria recutita* L. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 66(Spe): e23230576. DOI: 10.1590/1678-4324-SSBFAR-2023230576.

López Estrada, D., Chang, W. Te, & Heinrich, M. (2025). From "traditional" to modern medicine: A medical and historical analysis of *Tagetes erecta* L. (Cempasúchil). *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 15(1): 6–14. DOI: 10.1016/j.jtcme.2024.08.001.

Lv, Y., Li, W., Liao, W., Jiang, H., Liu, Y., Cao, J., Lu, W., & Feng, Y. (2024). Nano-Drug Delivery Systems Based on Natural Products. *International Journal of Nanomedicine*, 19: 541–569. DOI: 10.2147/IJN.S443692.

Mailander, L. K., Lorenz, P., Bitterling, H., Stintzing, F. C., Daniels, R., & Kammerer, D. R. (2022). Phytochemical Characterization of Chamomile (*Matricaria recutita* L.) Roots and Evaluation of Their Antioxidant and Antibacterial Potential. *Molecules*, 27(23): 8508. DOI: 10.3390/molecules27238508.

Mandim, F., Petropoulos, S. A., Dias, M. I., Pinela, J., Kostić, M., Soković, M., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2021). Phenolic composition and biological



properties of *Cynara cardunculus* L. var. *altilis* petioles: Influence of the maturity stage. *Antioxidants*, 10(12): 1907. DOI: 10.3390/antiox10121907.

Marchese Robinson, R. L., Lynch, I., Peijnenburg, W., Rumble, J., Klaessig, F., Marquardt, C., Rauscher, H., Puzyn, T., Purian, R., Åberg, C., Karcher, S., Vriens, H., Hoet, P., Hoover, M. D., Hendren, C. O., & Harper, S. L. (2016). How should the completeness and quality of curated nanomaterial data be evaluated? *Nanoscale*, 8(19): 9919–9943. DOI: 10.1039/C5NR08944A.

Martínez-González, R. E., Huerta Martínez, F. M., Neri Luna, C., & Barrientos Ramírez, L. (2024). Ethnobotany of the old neighborhoods from Guadalajara, Jalisco, Mexico: the use of medicinal plants. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 23(1): 75–110. DOI: 10.37360/blacpma.24.23.1.6.

Mehdipour, A., Reza, M. A. S., Rasouli, A., Baravati, M. H. J., Jafari, G. A., & Heidari, F. (2024). Green synthesis of zinc nanoparticles by hydroalcoholic extract of lavender (*Lavandula stoechas* L.), characterization, and cytotoxic effects on human breast and colon cancer. *Scientific Reports*, 14(1): 29543. DOI: 10.1038/S41598-024-81295-0.

Mei, B., Xie, H., Xing, H., Kong, D., Pan, X., Li, Y., & Wu, H. (2020). Changes of Phenolic Acids and Antioxidant Activities in Diploid and Tetraploid *Echinacea purpurea* at Different Growth Stages. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 30(4): 510–518. DOI: 10.1007/S43450-020-00069-7.

Mushtaq, A., Mohd Wani, S., Malik, A. R., Gull, A., Ramniwas, S., Ahmad Nayik, G., Ercisli, S., Alina Marc, R., Ullah, R., & Bari, A. (2023). Recent insights into Nanoemulsions: Their preparation, properties and applications. *Food Chemistry: X*, 18: 100684. DOI: 10.1016/J.FOCHX.2023.100684.

Nature Nanotechnology. (2016). A matter of scale. *Nature Nanotechnology*, 11(9): 733. DOI: 10.1038/NNANO.2016.180.

Nayak, A. K., Hasnain, M. S., Aminabhavi, T. M., & Torchilin, V. P. (2022). Chapter 1 - Nanovesicular systems in drug delivery. In A. K. Nayak, M. S. Hasnain, T. M. Aminabhavi, & V. P. Torchilin (Eds.), *Systems of Nanovesicular Drug Delivery* (pp. 1–15). Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-323-91864-0.00026-7.

Nguyen, T. T. N., Vo, T. T., Nguyen, B. N. H., Nguyen, D. T., Dang, V. S., Dang, C. H., & Nguyen, T. D. (2018). Silver and gold nanoparticles biosynthesized by aqueous extract of burdock root, *Arctium lappa* as antimicrobial agent and catalyst for degradation of pollutants. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(34): 34247–34261. DOI: 10.1007/s11356-018-3322-2.

Ojeda, G. A., Arias Gorman, A. M., & Sgroppo, S. C. (2019). Nanotecnología y su aplicación en alimentos. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 12(23): 1–18. DOI: 10.22201/ceiich.24485691e.

- OMS, Organización Mundial de la Salud. (2019). *WHO Global report on traditional and complementary medicine 2019*. World Health Organization. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/312342/9789241515436-eng.pdf?ua=1>. Fecha de consulta: 24 de febrero de 2026.
- Onyeaka, H., Passaretti, P., Miri, T., & Al-Sharify, Z. T. (2022). The safety of nanomaterials in food production and packaging. *Current Research in Food Science*, 5: 763–774. DOI: 10.1016/J.CRFS.2022.04.005.
- Osman, A. I., Zhang, Y., Farghali, M., Rashwan, A. K., Eltaweil, A. S., Abd El-Monaem, E. M., Mohamed, I. M. A., Badr, M. M., Ihara, I., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2024). Synthesis of green nanoparticles for energy, biomedical, environmental, agricultural, and food applications: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(2): 841–887. DOI: 10.1007/S10311-023-01682-3.
- Palacios-Espinosa, J. F., Núñez-Aragón, P. N., Gomez-Chang, E., Linares, E., Bye, R., & Romero, I. (2021). Anti-*Helicobacter pylori* Activity of *Artemisia ludoviciana* subsp. *mexicana* and Two of Its Bioactive Components, Estafiatin and Eupatilin. *Molecules*, 26(12): 3654. DOI: 10.3390/molecules26123654.
- Panda, S. K., Da Silva, L. C. N., Sahal, D., & Leonti, M. (2019). Editorial: Ethnopharmacological studies for the development of drugs with special reference to Asteraceae. *Frontiers in Pharmacology*, 10: 483288. DOI: 10.3389/fphar.2019.00955.
- Paredes, A. J., Asensio, C. M., Llabot, J. M., Allemandi, D. A., & Palma, S. D. (2016). Nanoencapsulation in the food industry: manufacture, applications and characterization. *Journal of Food Bioengineering and Nanoprocessing*, 1(1): 56–79.
- Parveen, K., Banse, V., & Ledwani, L. (2016). Green synthesis of nanoparticles: Their advantages and disadvantages. *AIP Conference Proceedings*, 1724(1): 020048. DOI: 10.1063/1.4945168.
- Patel, S. B., & Sanap, D. P. (2026). Scaling up nanoformulation manufacturing: A multi-case study linking target product profiles, critical quality attributes, and quality by design. *OpenNano*, 28: 100288. DOI: 10.1016/J.ONANO.2026.100288
- Pathak, C., Vaidya, F. U., & Pandey, S. M. (2019). Mechanism for Development of Nanobased Drug Delivery System. In S. S. Mohapatra, S. Ranja, N. Dasgupta, R. K. Mishra & S. Thomas (Eds.), *Applications of Targeted Nano Drugs and Delivery Systems: Nanoscience and Nanotechnology in Drug Delivery*. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B978012814029100003X?via%3Dihub>. Fecha de consulta 19 de septiembre del 2026
- Pérez Hernández, R. A., Piñón Castillo, H. A., García Hernández, D. M., González Luna, A. R., Chávez Montes, A., Estrada Platas, K. L., & Gutiérrez Soto, J. G. (2025). Uso

agrícola de extractos vegetales nanoencapsulados en el control de fitopatógenos y poscosecha. *Revista Agro*, 3(1): 1–32. DOI: 10.47633/x2m2x827

- Pérez-Gutiérrez, S., Campos-Xolalpa, N., Estrada-Barajas, S. A., Carrasco-Carballo, A., Mendoza, A., & Sánchez-Mendoza, E. (2025). Anti-Inflammatory Activity of Two Labdane Enantiomers from *Gymnosperma glutinosum*: An In Vivo, In Vitro, and In Silico Study. *Pharmaceuticals*, 18(4): 516. DOI: 10.3390/ph18040516.
- Perumal, S., Atchudan, R., & Lee, W. (2022). A Review of Polymeric Micelles and Their Applications. *Polymers*, 14(12): 2510. DOI: 10.3390/POLYM14122510.
- Petrova, M., Miladinova-Georgieva, K., & Geneva, M. (2024). Influence of Abiotic and Biotic Elicitors on Organogenesis, Biomass Accumulation, and Production of Key Secondary Metabolites in Asteraceae Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(8): 4197. DOI: 10.3390/IJMS25084197.
- Piccinin, I. N., Zielinski, A. A. F., & Kuhnen, S. (2022). Invasive plant *Bidens pilosa* as an ecofriendly antibiofilm-antimicrobial against *Staphylococcus aureus* for bovine mastitis control. *Organic Agriculture*, 13(1): 73–82. DOI: 10.1007/s13165-022-00415-0.
- Pietroiu, A., Stockmann-Juvala, H., Lucaroni, F., & Savolainen, K. (2018). Nanomaterial exposure, toxicity, and impact on human health. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 10(5): e1513. DOI: 10.1002/WNAN.1513.
- Reimers, E. A. L., C., E. F., Reimers, D. J. L., Chaloupkova, P., Valle, J. M. Z. del, Milella, L., & Russo, D. (2019). An Ethnobotanical Survey of Medicinal Plants Used in Papatla, Veracruz, Mexico. *Plants*, 8(8): 246. DOI: 10.3390/PLANTS8080246.
- Rhayem, L., Boussetta, N., Kubo, M. T. K., Merlier, F., Vorobiev, E., & Lebovka, N. (2026). Bioactive Compounds from Dandelion (*Taraxacum officinale*): Advances in Extraction Techniques and Applications. *Foods*, 15(4): 782. DOI: 10.3390/foods15040782.
- Rizki, I. N., Astuti, W., Patmawati, P., Firmansyah, M. L., & Jiwanti, P. K. (2026). Extract-dependent size control of silver nanoparticles using tropical artisan tea extracts under identical green synthesis conditions. *South African Journal of Chemical Engineering*, 56: 100840. DOI: 10.1016/J.SAJCE.2026.100840.
- Rodríguez-Chávez, J. L., Egas, V., Linares, E., Bye, R., Hernández, T., Espinosa-García, F. J., & Delgado, G. (2017). Mexican Arnica (*Heterotheca inuloides* Cass. Asteraceae: Astereae): Ethnomedical uses, chemical constituents and biological properties. *Journal of Ethnopharmacology*, 195: 39–63. DOI: 10.1016/j.jep.2016.11.021.
- Rodríguez-Hernández, A. A., Flores-Soria, F. G., Patiño-Rodríguez, O., & Escobedo-Moratilla, A. (2022). Sanitary Registries and Popular Medicinal Plants Used in Medicines and Herbal Remedies in Mexico (2001–2020): A Review and Potential Perspectives. *Horticulturae*, 8(5): 377. DOI: 10.3390/horticulturae8050377.



- Rodríguez-Landa, J. F., Cueto-Escobedo, J., Flores-Aguilar, L. Á., Rosas-Sánchez, G. U., Rovirosa-Hernández, M. de J., García-Orduña, F., & Carro-Juárez, M. (2018). The Aqueous Crude Extracts of *Montanoa frutescens* and *Montanoa grandiflora* Reduce Immobility Faster Than Fluoxetine Through GABAA Receptors in Rats Forced to Swim. *Journal of Evidence-Based Integrative Medicine*, 23: 2515690X18762953. DOI: 10.1177/2515690X18762953.
- Sahu, K., Kurey, R., & Pillai, A. K. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles from *Manilkara zapota* leaf extract for the detection of aminoglycoside antibiotics and other applications. *RSC Advances*, 14(32): 23240–23256. DOI: 10.1039/D4RA01906G.
- Salehi, B., Selamoglu, Z., Sevindik, M., Fahmy, N. M., Al-Sayed, E., El-Shazly, M., Csupor-Löffler, B., Csupor, D., Yazdi, S. E., Sharifi-Rad, J., Arserim-Ucar, D. K., Arserim, E. H., Karazhan, N., Jahano, A., Dey, A., Azadi, H., Vakili, S. A., Sharopov, F., Martins, N., & Busselberg, D. (2020). *Achillea* spp.: A comprehensive review on its ethnobotany, phytochemistry, phytopharmacology and industrial applications. *Cellular and Molecular Biology*, 66(4): 78–103. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32583790/>
- Salinas-Rodríguez, M. M., Sajama, M. J., Gutiérrez-Ortega, J. S., Ortega-Baes, P., & Estrada-Castillón, A. E. (2018). Identification of endemic vascular plant species hotspots and the effectiveness of the protected areas for their conservation in Sierra Madre Oriental, Mexico. *Journal for Nature Conservation*, 46: 6–27. DOI: 10.1016/J.JNC.2018.08.012.
- Sammasagi, S. P., Sutar, K. P., & Hooli, S. (2025). Scale-Up and Quality Control Challenges in the Industrial Manufacturing of Nanoformulations: Current Trends and Future Perspectives. *IJSAT - International Journal on Science and Technology*, 16(2): 1-27. DOI: 10.71097/IJSAT.V16.I2.6473.
- Sandhiya, V., & Ubaidulla, U. (2020). A review on herbal drug loaded into pharmaceutical carrier techniques and its evaluation process. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 6(1): 51. DOI: 10.1186/s43094-020-00050-0.
- Sanei-Dehkordi, A., Ghasemian, A., Zarenezhad, E., Qasemi, H., Nasiri, M., & Osanloo, M. (2023). Nanoliposomes containing three essential oils from the *Artemisia* genus as effective larvicides against *Aedes aegypti* and *Anopheles stephensi*. *Scientific Reports*, 13(1): 11002. DOI: 10.1038/s41598-023-38284-6.
- Sanjana, Priyadarshini, R., Rajeshkumar, S., & Anandan, J. (2025). Evaluation of Antimicrobial and Cytotoxic Effects of *Eclipta prostrata*-mediated Calcium Oxide Nanoparticle-incorporated Mouth Rinse. *Journal of Environmental Nanotechnology*, 14(1): 63–68. DOI: 10.13074/jent.2025.03.243941.
- Sansores-España, D., Pech-Aguilar, A. G., Cua-Pech, K. G., Medina-Vera, I., Guevara-Cruz, M., Gutiérrez-Solis, A. L., Reyes-García, J. G., & Avila-Nava, A. (2022). Plants Used in Mexican Traditional Medicine for the Management of Urolithiasis: A Review of

Preclinical Evidence, Bioactive Compounds, and Molecular Mechanisms. *Molecules*, 27(6): 2008. DOI: 10.3390/molecules27062008.

- Sapkota, B., & Kunwar, P. (2024). A Review on Traditional Uses, Phytochemistry and Pharmacological Activities of *Calendula officinalis* Linn. *Natural Product Communications*, 19(6)1: 22. DOI: 10.1177/1934578X241259021.
- Sharma, A., Flores-Vallejo, R. del C., Cardoso-Taketa, A., & Villarreal, M. L. (2017). Antibacterial activities of medicinal plants used in Mexican traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 208: 264–329. DOI: 10.1016/j.jep.2016.04.045.
- Sharma, M., Bithel, N., & Sharma, M. (2022). Ethnobotany, Phytochemistry, Pharmacology and Nutritional Potential of Medicinal Plants from Asteraceae Family. *Journal of Mountain Research*, 17(2): 67–83. DOI: 10.51220/jmr.v17i2.7.
- Sharma, R., Bhattu, M., Tripathi, A., Verma, M., Acevedo, R., Kumar, P., Rajput, V. D., & Singh, J. (2023). Potential medicinal plants to combat viral infections: A way forward to environmental biotechnology. *Environmental Research*, 227: 115725. DOI: 10.1016/j.envres.2023.115725.
- Sharma, S., Bharti, R., Thakur, A., Sharma, R., & Verma, M. (2025). Eco-friendly Synthesis and Characterization of Bioactive Iron Oxide Nanoparticles Using *Tagetes erecta* Leaf Extract for Antioxidant and Anti-Corrosion Application. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, 17(5): 444–455. DOI: 10.17807/orbital.v17i5.22919.
- Singh, N. B., Kumar, B., Usman, U. L., & Susan, M. A. B. H. (2024). Nano revolution: Exploring the frontiers of nanomaterials in science, technology, and society. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 39: 101299. DOI: 10.1016/j.nanos.2024.101299.
- Sun, S., Yu, Y., Jo, Y., Han, J. H., Xue, Y., Cho, M., Bae, S. J., Ryu, D., Park, W., Ha, K. T., & Zhuang, S. (2025). Impact of extraction techniques on phytochemical composition and bioactivity of natural product mixtures. *Frontiers in Pharmacology*, 16: 1615338. DOI: 10.3389/FPHAR.2025.1615338.
- Szopa, A., Pajor, J., Klin, P., Rzepiela, A., Elansary, H. O., Al-Mana, F. A., Mattar, M. A., & Ekiert, H. (2020). *Artemisia absinthium* L.—Importance in the History of Medicine, the Latest Advances in Phytochemistry and Therapeutic, Cosmetological and Culinary Uses. *Plants*, 9(9): 1063. DOI: 10.3390/plants9091063.
- Tamargo, B., Monzote, L., Piñón, A., Machín, L., García, M., Scull, R., & Setzer, W. N. (2017). In Vitro and In Vivo Evaluation of Essential Oil from *Artemisia absinthium* L. Formulated in Nanocochleates against Cutaneous Leishmaniasis. *Medicines*, 4(2): 38. DOI: 10.3390/MEDICINES4020038.
- Tran, X. T., Bien, T. T. L., Tran, T. Van, & Nguyen, T. T. T. (2024). Biosynthesis of ZnO nanoparticles using aqueous extracts of *Eclipta prostrata* and *Piper longum*: characterization and assessment of their antioxidant, antibacterial, and photocatalytic properties. *Nanoscale Advances*, 6(19): 4885–4899. DOI: 10.1039/D4NA00326H.



- Vargas, J., García, L., & Baena, Y. (2023). Nanotechnology and herbal products: Advances and perspectives in the treatment of diabetes and some of its complications. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 13(12): 001–014. DOI: 10.7324/JAPS.2023.147736.
- Velázquez-Vázquez, G., Pérez-Armendáriz, B., Ortega-Martínez, L. D., & Nelly-Juarez, Z. (2019). Ethnobotanical knowledge on the use of medicinal plants in the sierra negra de Puebla, Mexico. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 18(3): 265–276. DOI: 10.37360/blacpma.19.18.3.17.
- Velgosova, O., Dolinská, S., Podolská, H., Mačák, L., & Čížmárová, E. (2024). Impact of Plant Extract Phytochemicals on the Synthesis of Silver Nanoparticles. *Materials*, 17(10): 2252. DOI: 10.3390/MA17102252.
- Verekar, R., Dessai, S., Ayyanar, M., Nadaf, S., & Gurav, S. (2024). Nanocochleates: Revolutionizing lipid-based drug delivery with enhanced bioavailability, a review. *Hybrid Advances*, 6: 100215. DOI: 10.1016/J.HYBADV.2024.100215.
- Villaseñor, J. L. (2004). Los Géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Botanical Sciences*, 75: 105–135. DOI: 10.17129/botsc1.1694.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87: 559–902. DOI: 10.1016/j.rmb.2016.06.017.
- Villaseñor, J. L. (2018). Diversidad y distribución de la familia Asteraceae en México. *Botanical Sciences*, 96(2): 332–358. DOI: 10.17129/botsc1.1872.
- Wang, H., Leeuwenburgh, S. C. G., Li, Y., & Jansen, J. A. (2012). The use of micro- and nanospheres as functional components for bone tissue regeneration. *Tissue Engineering - Part B: Reviews*, 18(1): 24–39. DOI: 10.1089/TEN.TEB.2011.0184.
- Yien, R. M. K., Matos, A. P. dos S., Gomes, A. C. C., Garófalo, D. de A., Santos-Oliveira, R., Simas, N. K., & Ricci-Júnior, E. (2023). Nanotechnology Promoting the Development of Products from the Biodiversity of the Asteraceae Family. *Nutrients*, 15(7): 1610. DOI: 10.3390/nu15071610.
- Younas, M., Drouet, S., Nadeem, M., Giglioli-Guivarc'h, N., Hano, C., & Abbasi, B. H. (2018). Differential accumulation of silymarin induced by exposure of *Silybum marianum* L. callus cultures to several spectres of monochromatic lights. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 184: 61–70. DOI: 10.1016/J.JPHOTOBIOI.2018.05.018.
- Zapata-Morales, J. R., Alonso-Castro, A. J., Domínguez, F., Carranza-Álvarez, C., Isiordia-Espinoza, M., Hernández-Morales, A., & Solorio-Alvarado, C. (2017). The antinociceptive effects of a standardized ethanol extract of the *Bidens odorata* Cav (Asteraceae) leaves are mediated by ATP-sensitive K⁺ channels. *Journal of Ethnopharmacology*, 207: 30–33. DOI: 10.1016/j.jep.2017.06.021.

Zarate-Escobedo, J., Castañeda-González, E. L., Cuevas-Sánchez, J. A., Carrillo-Fonseca, C. L., Ortiz-Torres, C., Ibarra-Estrada, E., & Serrato-Cruz, M. A. (2018). Essential oil of some populations of *Tagetes lucida* Cav. from the Northern and Southern regions of the State of Mexico. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 41(2): 199–209. DOI: 10.35196/rfm.2018.2.199-209.