



## APROXIMACIONES EVOLUTIVAS EN ETNOBOTÁNICA DE PLANTAS MEDICINALES Y BIOPROSPECCIÓN

MADELEYNE CUPIDO<sup>1</sup>, JOSÉ ARTURO DE-NOVA<sup>2\*</sup>, VIRGINIA GABRIELA CILIA-LÓPEZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

<sup>2</sup> Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

<sup>3</sup> Facultad de Medicina-Coordiación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

\*Autor para la correspondencia: [arturo.denova@gmail.com](mailto:arturo.denova@gmail.com) x

### Resumen

La evolución ha producido una gran biodiversidad que proporciona al ser humano bienes esenciales actuales y opciones de valor futuras. Estos recursos son extraídos y empleados para satisfacer necesidades básicas, como la medicina tradicional, resultado de la experiencia y el contacto humano con la naturaleza a través del tiempo. Los saberes tradicionales han sido aprovechados como guía para la bioprospección y los estudios etnobotánicos son el primer paso para visibilizarlos y protegerlos. Se plantea la necesidad de aplicar aproximaciones filogenéticas y su importancia para el desarrollo de la etnobotánica en México, así como su impacto en el descubrimiento, aprovechamiento y conservación de recursos medicinales para el bienestar humano. Estas aproximaciones, que revelan la historia evolutiva de las especies, pueden fortalecer la bioprospección, ya que señalan especies emparentadas que pudieran llegar a producir sustancias químicas útiles, lo que resulta relevante para la biotecnología y resalta la importancia de la conservación del patrimonio biocultural.

**Palabras clave:** Biodiversidad, ecosistema, filogenia.

### Abstract

Evolution has originated high levels of biodiversity that provide essential actual benefits to humans and future option values. These resources are extracted and used to meet basic needs, such as traditional medicine, which is the result of human experience and its contact with nature over time. Traditional knowledge used as a guide for bioprospecting and ethnomedicinal research is the first step to protecting it and making it visible. The need to apply phylogenetic approaches and their importance for the development of ethnobotany in Mexico is discussed, as well as their implications for the discovery, use and conservation of medicinal resources for human well-being. This approaches, elucidating the evolutionary history of species, can improve bioprospecting practices since they point out related species which could produce useful chemical compounds, which is relevant to biotechnology and emphasizes the importance of preserving biocultural heritage.

**Keywords:** Biodiversity, ecosystem, phylogeny.



La extraordinaria variación del reino vegetal ha permitido al ser humano afrontar aspectos tan importantes como la salud y la alimentación a lo largo de miles de años. Tal diversidad provee bienes esenciales conocidos para los humanos como alimento, medicinas y materias primas, entre otras, y aquellos elementos desconocidos también llamados ‘opciones de valor’ de la biodiversidad (Futuyama 1995, Faith *et al.* 2010). De esta manera, el concepto de servicios del ecosistema acuñado por Faith *et al.* (2010) como un complemento del concepto tradicional de servicios ecosistémicos, resalta a la evolución como el proceso generador de dichos bienes y opciones de valor para el bienestar humano y su relación causal con una alta diversidad de linajes (Futuyama 1995, Molina-Venegas *et al.* 2020, Molina-Venegas 2021). Es así, que nuevos enfoques evolutivos para el estudio de la etnobotánica han emergido gracias al desarrollo de las ciencias ómicas, las técnicas moleculares e informáticas que facilitan la reconstrucción filogenética y la identificación de nodos clave que agrupan especies tradicionalmente utilizadas para fines medicinales (Garnatje *et al.* 2017).

Las plantas han sido una fuente de medicinas para diversas culturas del mundo a lo largo de toda su historia. Se han documentado sistemas medicinales en Mesopotamia que comprendía unos 1,000 medicamentos derivados de plantas y la medicina egipcia con más de 700 (Borchardt 2002, Sneader 2005, Cragg & Newman 2013). Otros ejemplos milenarios son la medicina tradicional china e hindú (Unschuld 1986, Patwardhan 2005). A partir del conocimiento tradicional en plantas medicinales se han identificado compuestos bioactivos útiles esenciales para la producción de diversos fármacos (Mushtaq *et al.* 2018). En la actualidad, alrededor de un tercio de los fármacos proceden de extractos botánicos o de sus derivados (Watkins *et al.* 2015), los cuales existen en diversas presentaciones como polvos, soluciones, cápsulas, comprimidos, pomadas, cremas (Kumadoh & Kwakye 2017, Amrita & Arun 2019, Poulose *et al.* 2020) y nanoparticuladas (Chen *et al.* 2020).

Previamente se ha señalado que las propiedades medicinales de las especies vegetales son más frecuentes en ciertos grupos de plantas (linajes evolutivos) que en otros (Moerman 1991, Amiguet *et al.* 2006, Bennett & Husby 2008, Douwes *et al.* 2008, Saslis-Lagoudakis *et al.* 2011a, 2011b). De esta manera se ha sugerido que la búsqueda de nuevas plantas medicinales debe ser dirigida en dichos grupos clave a través del enfoque filogenético, ya que revela las relaciones evolutivas entre especies lo que es particularmente útil para descubrir aquellas con algún potencial desconocido (Saslis-Lagoudakis *et al.* 2012, Hao & Xiao 2015). Sin embargo, aún son escasos los estudios que exploran la distribución filogenética de plantas útiles en otras partes del mundo (ej. Molina-Venegas *et al.* 2020, Molina-Venegas 2021) y con recientes aportaciones para México (Díaz-Toribio *et al.* 2023, De-Nova *et al.* 2023). Promover un conocimiento más profundo del patrón evolutivo en plantas medicinales resulta fundamental no sólo para comprender los mecanismos de evolución y las relaciones de ancestro-decendencia de las plantas, sino también porque facilita el descubrimiento y el desarrollo de fármacos de origen vegetal. Una bioprospección basada en herramientas filogenéticas que incluya datos etnobotánicos y fitoquímicos puede tener alcances taxonómicos y sistemáticos más amplios y contribuir a identificar linajes evolutivos útiles con mayor incidencia de compuestos biológicos activos y no sólo especies (Rønsted *et al.* 2012, Mawalagedera *et al.* 2019). En la presente contribución planteamos la necesidad de aplicar aproximaciones filogenéticas y su importancia para el desarrollo de la etnobotánica en México, así como su impacto en el descubrimiento, aprovechamiento y conservación de recursos medicinales para el bienestar humano. Se presenta una reflexión con ideas, revisadas y originales, que son de valor en la perspectiva de los estudios etnobotánicos y sus vínculos con la ecología y estudios evolutivos.

### **La medicina tradicional y la herbolaria en México**

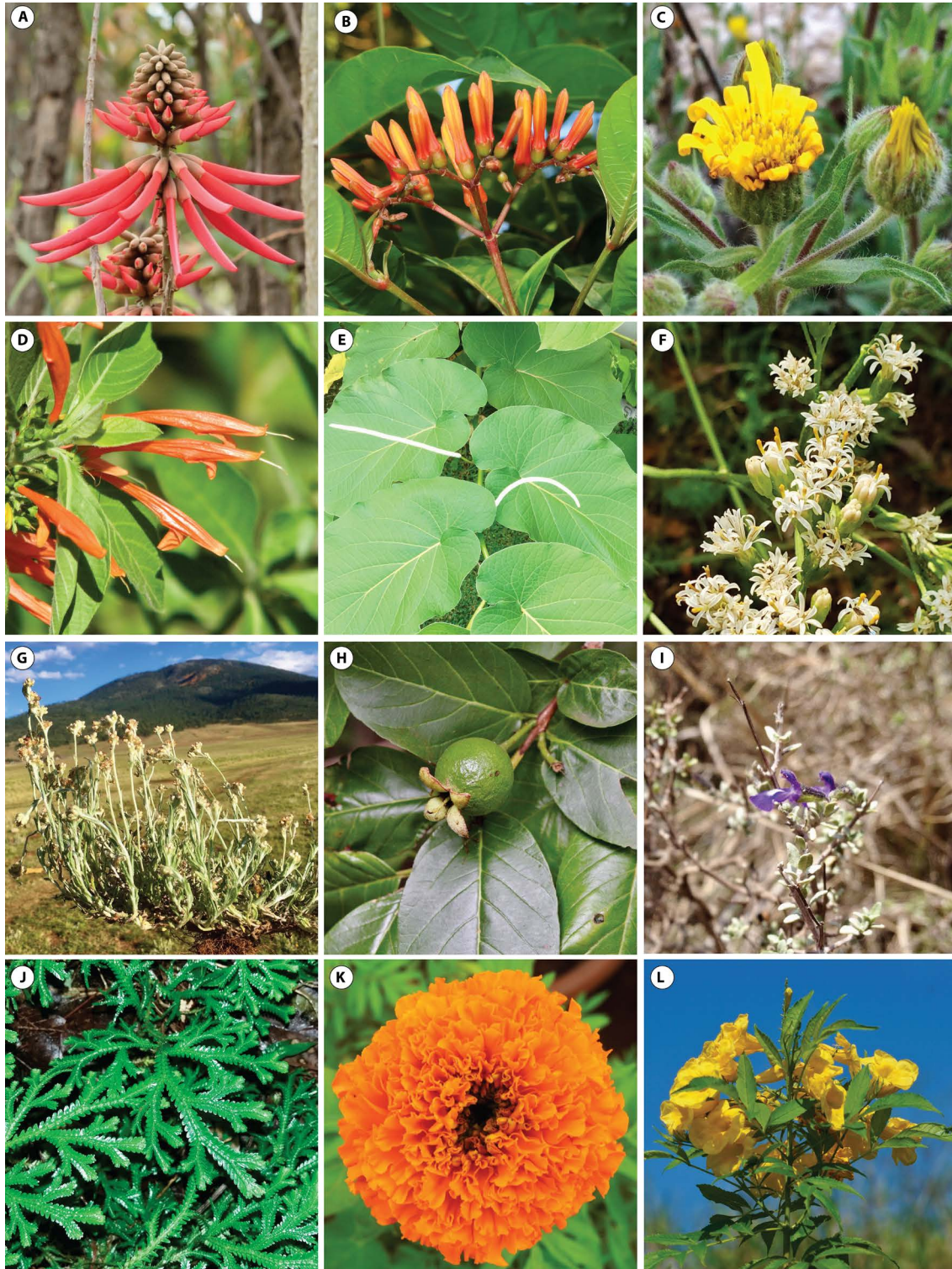
De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la medicina tradicional se define como “la suma de conocimientos, habilidades y prácticas basadas en teorías, creencias y experiencias de diferentes culturas, utilizadas en la prevención, diagnóstico o tratamiento de enfermedades tanto físicas como mentales” (WHO 2018). La enorme diversidad biológica y cultural de México proporciona un excelente escenario para el estudio de prácticas bioculturales que son clave para el descubrimiento de compuestos bioactivos.

De las cerca de 25 mil especies de plantas vasculares que se han registrado en México, entre 3,000 y 5,000 especies (Salazar-Aranda *et al.* 2013, Sansores-España *et al.* 2022), nativas e introducidas, son utilizadas como medicinales. Sin embargo, sólo se conocen los principios activos de una pequeña proporción, entre el 1 y 2 % (Salazar-Aranda *et al.* 2013). Se ha demostrado que una misma especie puede llegar a producir diferentes compuestos bioactivos, lo que resalta la complejidad y riqueza bioquímica de la flora de México. La efectividad de las plantas medicinales se debe a los principios activos de sus compuestos fitoquímicos, que varían en concentración y producción de acuerdo con la especie, etapa fenológica y estructuras de la planta, así como a factores bióticos y abióticos. En la [Figura 1](#) se muestran algunas especies representativas de plantas medicinales mexicanas utilizadas en la medicina tradicional, con algunos ejemplos conocidos como el árnica (*Heterotheca inuloides* Cass.), el cempasúchil (*Tagetes erecta* L.), el gordolobo (*Pseudognaphalium conoideum* (Kunth) Anderb.) y la hierba santa (*Piper auritum* Kunth).

La herbolaria mexicana es de las más diversas del mundo debido a la riqueza vegetal y cultural que han convergido desde tiempos prehispánicos en nuestro territorio (Salazar-Aranda *et al.* 2013, Valdivia-Correa *et al.* 2016, Sansores-España *et al.* 2022). Esto ha sido documentado en obras antiguas como “*Amate-Cehuatl-Xihuitl-Pitli*” o en latín “*Libellus de Medicinalibus Indorum Herbis*”, con 185 ilustraciones de plantas medicinales, escrito en 1552 por Martín de la Cruz y que posteriormente fue traducido al latín por Juan Badiano. Otros documentos históricos importantes son Historia de las cosas de la Nueva España de Bernardino de Sahagún escrito entre 1540 y 1590, así como Historia de las plantas de la Nueva España por Francisco Hernández de Toledo escrito alrededor de 1570. Hoy en día en México, entre 15 y 20 millones de personas tanto en zonas urbanas como rurales utilizan la medicina tradicional (Muñetón-Pérez 2009), esto debido al limitado acceso a servicios de salud. Por su parte, las culturas originarias o indígenas que permanecen hoy en día continúan dependiendo en gran medida de las plantas medicinales para tratar y prevenir una variedad de enfermedades o síntomas (Heinrich *et al.* 1998, Geck *et al.* 2020). Es así como los saberes y prácticas culturales de la medicina tradicional, integran un sistema dinámico de generación y aplicación de conocimientos de cada cultura presente en el país, heredado por generaciones a través de la transmisión oral, formando parte de su memoria colectiva y que representan su patrimonio biocultural (Zuluaga & Correa 2002).

En la actualidad son de gran importancia colecciones, catálogos e investigaciones sobre plantas medicinales de nuestro país, con información de calidad verificada por especialistas y de acceso abierto a los diferentes sectores de la sociedad. La principal colección biológica que resguarda la información sobre medicina tradicional en nuestro país es el Herbario Medicinal del Instituto Mexicano del Seguro Social que se fundó en 1978, el cual reúne a la fecha aproximadamente 17 mil ejemplares de 2 mil especies que se han recopilado alrededor de todo el país representativos de la diversidad étnica y florística de México. Sin embargo, también es importante mencionar a las colecciones nacionales como el Herbario Nacional de México (MEXU) de la UNAM, con más de 1,300,000 registros que, si bien no son específicas para la medicina tradicional, incluyen los especímenes utilizados en los principales estudios etnobotánicos en el país. Una colección regional interesante es la del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) que resguarda especímenes de 70 especies que se utilizan en la medicina tradicional Maya. Otras colecciones regionales importantes con especímenes que resguardan información etnobotánica son IBUG, IEB y XAL.

A la par de las colecciones biológicas, las plataformas electrónicas que compilan información impresa en medios digitales facilitan su síntesis y consulta. Un ejemplo es la Biblioteca de la Medicina Tradicional Mexicana desarrollada por el Instituto Nacional Indigenista y la Universidad Nacional Autónoma de México entre 1990 y 1994, que reúne información de las principales obras impresas sobre este tema, como el Diccionario Enciclopédico de la Medicina Tradicional Mexicana, la Medicina Tradicional de los Pueblos Indígenas de México, el Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana, así como la Flora Medicinal Indígena de México. La base de datos Maximino de la Universidad Simón Bolívar (Flores-Camargo & Sánchez-Dirzo 2022) contiene información etnobotánica de 4,382 especies de plantas vasculares (3,792 nativas y 590 exóticas) de las 32 entidades federativas de México. Además, la Secretaría de Salud publicó en 2001 la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos, donde se determinan métodos generales de análisis y lineamientos técnicos que deben cumplir la elaboración de medicamentos y remedios herbolarios a partir de plantas medicinales. Otra base de datos digital recientemente



**Figura 1.** Algunas especies representativas de plantas medicinales utilizadas en la medicina tradicional mexicana. A) *Erythrina americana* Mill. (colorín); B) *Hamelia patens* Jacq. (aretillo); C) *Heterotheca inuloides* Cass. (árnica mexicana); D) *Justicia spicigera* Schlttdl. (añil de piedra); E) *Piper auritum* Kunth (hierba santa); F) *Psacalium decompositum* (A.Gray) H. Rob. & Brettell (matarique); G) *Pseudognaphalium conoideum* (Kunth) Anderb. (gordolobo); H) *Psidium guajava* L. (guayaba); I) *Salvia thymoides* Benth. (salvia tomillo); J) *Selaginella martensii* Spring. (selaginela); K) *Tagetes erecta* L. (cempasúchil); L) *Tecoma stans* (L.) Kunth (timboco). Elaboración propia con imágenes de Enciclovida.

desarrollado es el Catálogo de plantas medicinales de la región biocultural Huasteca de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (Cupido *et al.* 2023) que sintetiza información sobre plantas medicinales usadas por la cultura tének para 575 especies, sobre su taxonomía, nombres comunes, así como los síntomas y enfermedades para las que son usadas. Este tipo de bases digitales de acceso abierto son especialmente valiosas para los estudios de bioprospección ya que sintetizan el conocimiento y prácticas tradicionales que de manera convencional han dirigido el camino para investigar especies con potencial biotecnológico.

### La aproximación clásica de la bioprospección en el estudio de las plantas medicinales

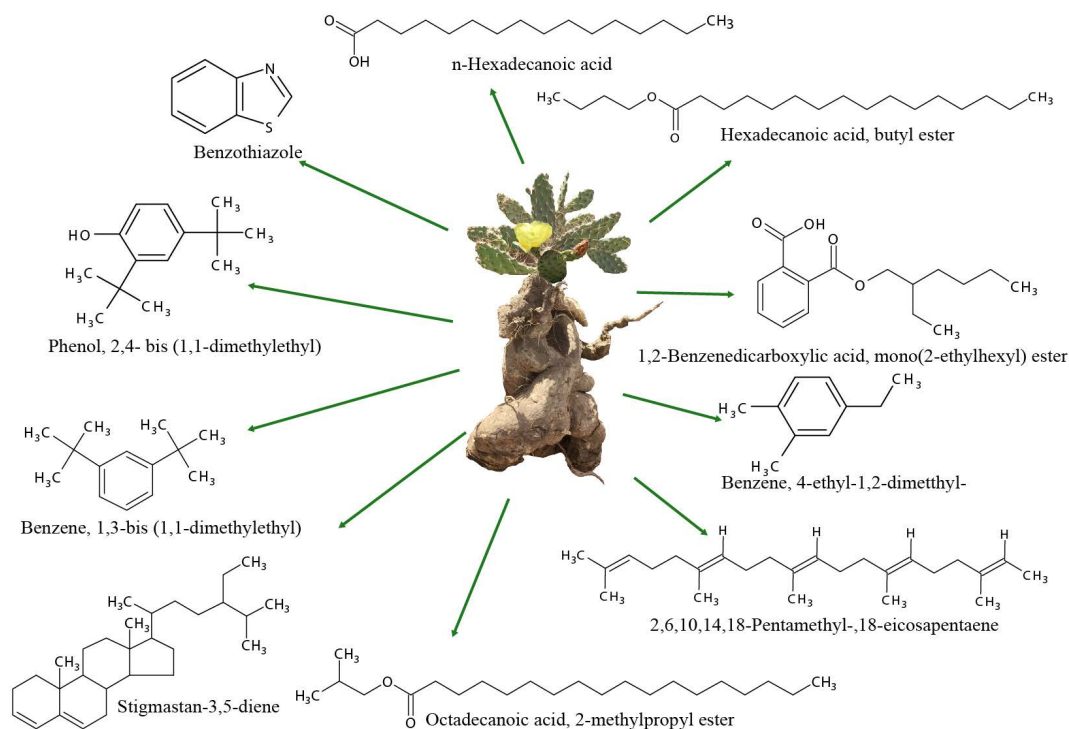
En 1989 Thomas Eisner planteó el concepto de prospección química, un esfuerzo de colaboración entre conservacionistas, científicos, la industria farmacéutica y los países ricos en biodiversidad para desarrollar productos a partir de la biodiversidad que puedan proveer algún bien tangible para la sociedad (Reid *et al.* 1993). Más adelante este concepto fue cambiado a bioprospección para describir la búsqueda sistematizada de nuevos productos derivados de la biodiversidad e incluir no solo el rastreo de extractos químicos de organismos sino también sus propiedades genéticas. Hoy en día, la diversidad de conocimientos tradicionales que poseen diferentes culturas puede aportar información para la bioprospección, para el desarrollo de nuevos medicamentos útiles en el tratamiento de enfermedades de importancia mundial como las cancerígenas, cardiovasculares, gastrointestinales, metabólicas, psiquiátricas, respiratorias, virales, entre otras. Por ejemplo, más del 70 % de los fármacos utilizados para el tratamiento de enfermedades infecciosas y el 60 % de los fármacos utilizados en la oncoterapia proceden de recursos naturales (Newman *et al.* 2003).

Algunos de los compuestos bioactivos más importantes a nivel mundial considerados actualmente como medicamentos comerciales populares proceden de plantas y fueron desarrollados a partir de información etnobotánica y la bioprospección. Resaltan la aspirina de *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim, la codeína, morfina y papaverina de *Papaver somniferum* L., la colchicina de *Colchicum autumnale* L., el tetrahydrocannabinol y cannabidiol de *Cannabis sativa* L., y la vinblastina y vincristina de *Catharanthus roseus* L. (Prance *et al.* 1994, Hamilton & Baskett 2000, Joo 2014). Otros casos importantes son el paclitaxel con propiedades anticancerígenas procedente del género *Taxus* L. y el oseltamivir desarrollado durante la epidemia de la gripe aviar a partir de *Illicium verum* Hook (Garnatje *et al.* 2017). Los registros etnobotánicos también condujeron al aislamiento y desarrollo de la artemisinina de *Artemisia annua* L. como potente fármaco antipalúdico, cuya relevancia fue reconocida con el Premio Nobel de Fisiología o Medicina de 2015 (Tu 2011).

De esta manera consideramos que las diferentes regiones de México, con su alta biodiversidad, representa un almacén de posibilidades para la bioprospección, con bienes tangibles y opciones de valor para el bienestar humano. Entre los casos más importantes que ilustran este potencial resalta el descubrimiento de la diosgenina, un esteroide que se encuentra en los rizomas de plantas del género *Dioscorea* y que fue la base para el desarrollo de la píldora anticonceptiva, la cual mejoró el control de la natalidad en todo el mundo y significó un cambio social durante el siglo XX (Villanueva-Almanza 2021). En la década de 1940 Russell Marker, estudió la especie *Dioscorea mexicana* Scheidw. para obtener la diosgenina y más adelante supo de la existencia de otra especie cercanamente emparentada, *D. composita* Hemsl., que produce hasta cinco veces mayor concentración de diosgenina. Este es un caso en donde la bioprospección fue guiada por información basada no solo en el conocimiento etnobotánico sino también en las relaciones evolutivas entre especies al menos de forma indirecta.

Los productos naturales se han desarrollado a lo largo de millones de años de evolución, por lo que cada especie representa una posibilidad única de compuestos fitoquímicos cuyas actividades biológicas pueden llegar a utilizarse para atender problemas de salud crónicos, emergentes y reemergentes (Galm & Shen 2007). En este sentido, las especies endémicas poseen un gran potencial para la bioprospección, con adaptaciones que han generado compuestos bioactivos útiles para la biotecnología. Tal es el caso de *Opuntia megarrhiza* Rose (Cactaceae) (Figura 2), una especie endémica del desierto Chihuahuense en México, la cual se utiliza como medicina tradicional para el tratamiento de fracturas de huesos tanto en animales de granja como en seres humanos. Recientemente se detectaron 19 com-

puestos bioactivos volátiles por medio de la GC-MS (Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas) en cladodios de *O. megarrhiza* por lo que esta especie y sus parientes cercanos podría representar una alternativa para encontrar compuestos fitoquímicos con potencial para la medicina y biotecnología (Cupido *et al.* 2022). Casos como este resaltan la relevancia de estudiar otras especies del género *Opuntia*, cuya diversificación ocurrió en México hace al menos 4.9 millones de años atrás, generando cientos de especies (Hernández-Hernández *et al.* 2014), lo que exhorta aplicar nuevas técnicas filogenéticas que permitan el descubrimiento de nuevas drogas en linajes diversos y de distribución restringida.



**Figura 2.** Compuestos fitoquímicos predominantes en extractos de cladodios en *Opuntia megarrhiza*, especie endémica del desierto Chihuahuense, utilizada como medicina tradicional en el tratamiento de fracturas de huesos tanto de seres humanos como animales. Modificado de Cupido *et al.* 2022.

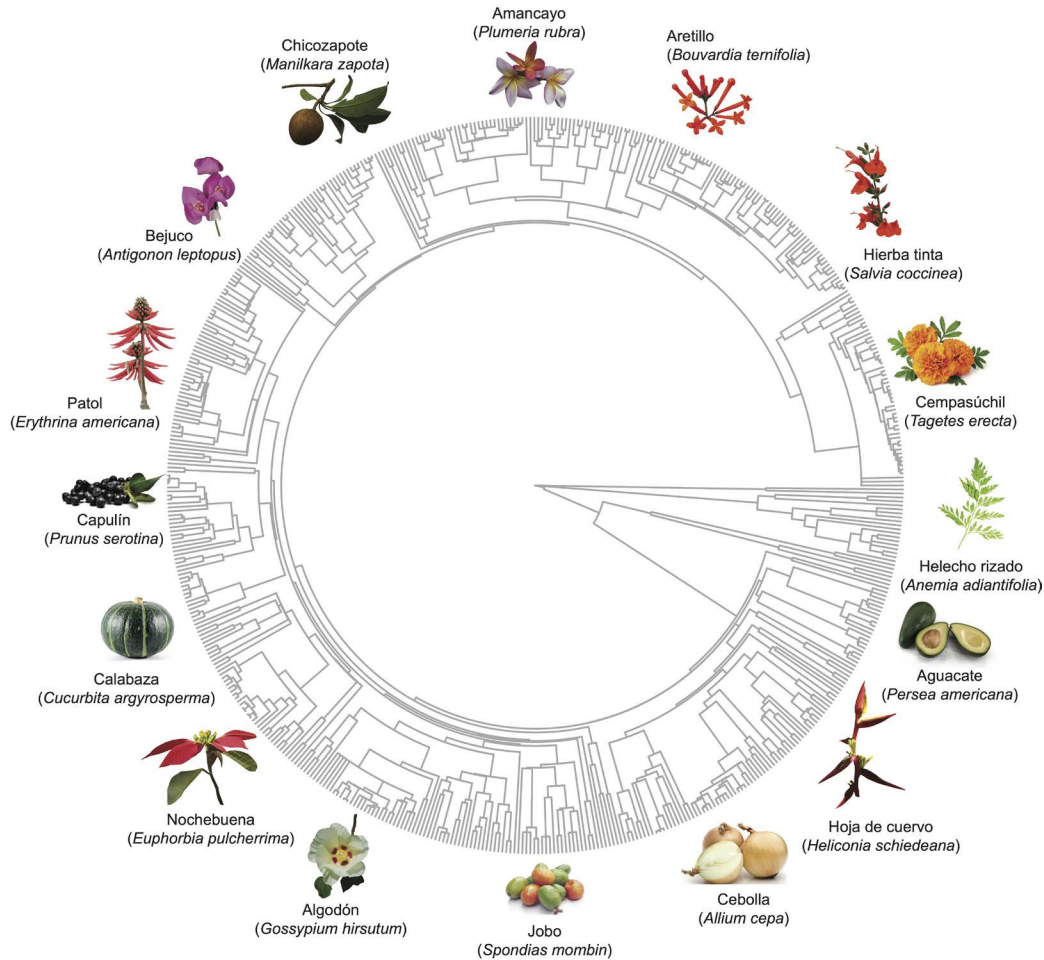
## El nuevo enfoque evolutivo en la etnobotánica y la bioprospección

La etnobiología evolutiva es una nueva rama de la etnobiología que busca comprender las interacciones de los humanos y la biodiversidad desde escenarios ecológicos y evolutivos, al integrar información previamente desarrollada y representa una guía para investigaciones futuras en esta disciplina (Albuquerque & Medeiros 2013, Ferreira-Júnior *et al.* 2022). Esta aproximación reconoce: a) una influencia recíproca entre los sistemas socioculturales y ecológicos, b) la coevolución del ser humano con el ambiente y c) a los atributos bioculturales como unidades de información transmisible a través de las generaciones que combinan aspectos culturales con biológicos (Ferreira-Júnior *et al.* 2022). Las prácticas bioculturales que van surgiendo y modificándose de generación en generación, promueve que las plantas medicinales se seleccionen y utilicen de forma coherente de acuerdo con su eficacia probada respecto a un uso o padecimiento específico. De esta manera, los atributos bioculturales pueden ser adaptativos en el caso de la selección de una planta que puede favorecer el tratamiento de una enfermedad o no adaptativa cuando la selección de dicha planta no es efectiva para el tratamiento o la enfermedad (Santoro *et al.* 2018, Ferreira-Júnior *et al.* 2022).

Este proceso ha operado de manera histórica por miles de años a través del ensayo y error que permitió tamizar aquellas especies efectivas para un tratamiento o enfermedad y sigue operando de manera actual con la búsqueda de nuevos remedios en el que las prácticas culturales se basan en atributos de las especies como el olor, sabor, color y similitudes morfológicas. Estudios etnofarmacológicos han demostrado que las propiedades organolépticas aromáticas son determinantes para el consumo de plantas con fines medicinales en las culturas maya, mixe y popoluca (Heinrich 1998, Ankli *et al.* 1999a, 1999b, Casagrande 2000, Leonti 2011). También se ha demostrado que la morfología de las plantas influye en su preferencia para el uso medicinal, tal es el caso del epazote *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants donde el color, tamaño y forma de la hoja, además de las características organolépticas, son criterios de selección para los habitantes mestizos con ascendencia mazateca de Santa María Tecomavaca, Oaxaca, que permiten diferenciar su empleo como condimento o medicamento antiparasitario (Blanckaert *et al.* 2012).

De acuerdo con Bletter (2007) los factores que llevan a la formación de patrones de uso son generados de dos maneras, por difusión y convergencia (Medeiros & Albuquerque 2015). Los patrones generados por difusión pueden ocurrir por el contacto entre individuos que intercambian información entre poblaciones cercanas o distantes a través de la migración de individuos que transmiten conocimientos a los habitantes de los nuevos lugares. Por otra parte, comunidades diferentes también pueden adquirir el mismo comportamiento de uso de plantas de manera independiente por convergencia (Medeiros & Albuquerque 2015). Con el surgimiento del enfoque evolutivo en la etnobiología, se han desarrollado nuevos términos y metodologías que permiten describir el patrón de agrupamiento filogenético de las categorías de uso de las plantas y poner a prueba de manera explícita hipótesis sobre los procesos que dirigen la evolución de los atributos bioculturales particularmente la convergencia. Previamente, Garnatje *et al.* (2017) propusieron el término de convergencia etnobotánica para referirse al hecho de que el ser humano da usos similares a plantas incluidas en los mismos nodos filogenéticos. Esta aproximación apoyada en la revolución ómica muestra como la combinación de la información etnobotánica y las tecnologías modernas puede ser usada para identificar nuevas aplicaciones potenciales de las plantas. El uso de esquemas filogenéticos de especies utilizadas en la medicina tradicional puede mejorar las estrategias de bioprospección al identificar los linajes evolutivos en donde se encuentran dichas especies. Las plantas medicinales no se seleccionan al azar por las culturas, sino que presentan un grado considerable de similitud en los atributos deseados (Santoro *et al.* 2018, Ferreira-Júnior *et al.* 2022), lo cual ocurre con mayor frecuencia entre especies de un mismo linaje evolutivo y que en su conjunto tienen el potencial para producir sustancias químicas útiles (Saslis-Lagoudakis *et al.* 2011a, b, Garnatje *et al.* 2017).

Con todo esto, es cada vez más claro que entre mayor sea el número de linajes representados en un set de plantas útiles mayor será la variedad de atributos biológicos encapsulados en dicho set y por lo tanto será mayor la posibilidad de retener beneficios desconocidos para el futuro y preservar su potencial evolutivo (Molina-Venegas *et al.* 2020). Los estudios que conectan la historia evolutiva, el conocimiento tradicional y las opciones de valor de la biodiversidad aún son escasos, pero han demostrado que las especies de plantas útiles se concentran en nodos específicos de la filogenia (ej. Rønsted *et al.* 2008, Saslis-Lagoudakis *et al.* 2011b, Zhu *et al.* 2011, Tucker *et al.* 2019, Molina-Venegas *et al.* 2020, Molina-Venegas 2021, Díaz-Toribio *et al.* 2023, De-Nova *et al.* 2023). De esta manera, se resalta la importancia de aplicar el enfoque evolutivo para detectar y describir patrones como la convergencia etnobotánica y el agrupamiento filogenético de las categorías de uso para revelar los procesos bioculturales implicados en la selección de opciones de valor para la biodiversidad (Hart & Cox 2000, Saslis-Lagoudakis *et al.* 2011b). No es un hecho desconocido que el ser humano utiliza sólo una fracción de la diversidad vegetal concentrada en ciertos linajes de importancia y se reconoce por ejemplo que las plantas medicinales se encuentran con mayor frecuencia en algunas familias como Asteraceae, Fabaceae o Lamiaceae y varias de sus especies son utilizadas para tratar los mismos padecimientos o algunos similares en diferentes partes del mundo y por distintas culturas (Moerman *et al.* 1999). Por ejemplo, en el caso de la cultura tének en la región Huasteca de México, este conocimiento incluye 563 especies de plantas medicinales para tratar diversos padecimientos (Cupido *et al.* 2023, De-Nova *et al.* 2023). De manera ilustrativa, en la [Figura 3](#) representamos la ubicación filogenética de algunas de estas especies usadas en la medicina tradicional tének.



**Figura 3.** Árbol filogenético de las plantas medicinales utilizadas por la cultura tének de la región Huasteca en San Luis Potosí, México, con imágenes de algunos ejemplos ubicados filogenéticamente.

### Aportes futuros del enfoque evolutivo

Tal como hemos mencionado, la identificación de linajes evolutivos de plantas que tienen una mayor probabilidad de producir compuestos fitoquímicos similares o variantes moleculares compartidas resulta más preciso en la actualidad a través de los métodos filogenéticos aplicados a los datos etnobotánicos. La experiencia humana reflejada en el conocimiento tradicional ofrece la base para acortar caminos en la búsqueda de nuevos productos con potencial biotecnológico. La bioprospección evolutiva, como ciencia emergente, ayuda a responder algunas preguntas relevantes que se han planteado desde hace tiempo, tales como: ¿Cuáles son los linajes que contienen más especies de plantas medicinales para una cultura? ¿Qué compuestos fitoquímicos comparten las especies filogenéticamente emparentadas que las hacen efectivas para tratar algún padecimiento? ¿Cuál es el origen evolutivo de los compuestos fitoquímicos en las especies que son usadas por diferentes culturas para tratar los mismos padecimientos? ¿Qué otras especies emparentadas no reconocidas por el humano pueden ser estudiadas por la bioprospección considerando sus relaciones evolutivas? ¿Cuál es la fracción evolutiva de la diversidad vegetal que una cultura reconoce y valora? La perspectiva evolutiva conecta la importancia de la biodiversidad con el bienestar humano como parte del ecosistema (Faith *et al.* 2010). Es así que sus servicios se manifiestan en la gran variedad de genes, especies, hábitats y ecosistemas que proporciona bienes tangibles esenciales para la humanidad. Hoy en día, aún con tecnologías



modernas en diversos sectores de la sociedad, los seres humanos dependemos de un buen número de plantas silvestres, nativas y endémicas de nuestro entorno.

Alrededor del mundo se sigue documentando el uso de las plantas medicinales, sus principios activos, aplicaciones, formas de preparación, toxicidad y su efecto en diferentes modelos *in vitro*. El reto ahora es encontrar fármacos para tratar enfermedades que ya se consideraban erradicadas, o bien para el tratamiento de nuevos padecimientos o enfermedades emergentes de forma rápida y efectiva. La gran variedad de plantas medicinales, sus usos y sus compuestos requiere de mayores esfuerzos con nuevos paradigmas de generación y aplicación del conocimiento. En este sentido, la bioprospección evolutiva plantea un nuevo panorama para identificar linajes completos con efectos prometedores en el tratamiento de enfermedades de interés mundial. La historia evolutiva de las plantas permite detectar linajes especialmente valiosos para estudios de bioprospección, y entre mayor sea el número de linajes representados por un conjunto de taxones, mayor será la variedad de sus opciones de valor. A medida que las nuevas iniciativas de la búsqueda de compuestos fitoquímicos demuestren mayor interés por los conocimientos tradicionales y se incluya el enfoque evolutivo se podrá comprender mejor el legado natural de bienes y opciones de valor para el presente y el futuro.

Por otro lado, salvaguardar los derechos de propiedad intelectual de los pueblos que originan los conocimientos y prácticas tradicionales de su uso debe tener correspondencia con la comercialización de los productos naturales resultantes y su propiedad intelectual (Melgar-Fernández 2005, Saslis-Lagoudakis *et al.* 2012), ya que la bioprospección hoy en día se puede llegar a confundir con la biopiratería sobre todo para los países en desarrollo (Dalton 2004). El Protocolo de Nagoya adoptado por el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB 2010) constituye un tratado especializado en la regulación del acceso apropiado de los recursos genéticos y los conocimientos y prácticas tradicionales asociados que además establece medidas y obligaciones relacionadas con el acceso a los recursos genéticos y la distribución de beneficios (Hernández-Ordoñez 2019); sin embargo, aún existen preocupaciones sobre su cumplimiento en diferentes partes del mundo (Watanabe & Teh 2011). México firmó y ratificó dicho protocolo (DOF 2014), lo que obliga a implementar medidas administrativas, legislativas y de política que permitan su funcionamiento en territorio nacional; y a pesar de haber publicado su Primer Informe Nacional Provisional sobre la Aplicación del Protocolo de Nagoya (CBD 2017), nuestro país carece de una legislación nacional para combatir la biopiratería en detrimento de la implementación del tratado. De acuerdo con Hernández-Ordoñez (2019), esta situación señala a México como un paraíso de acceso por la falta de una regulación nacional e inhibe la detonación de procesos nacionales para el desarrollo de protocolos comunitarios bioculturales como instrumentos defensivos de las comunidades. La bioprospección hoy en día representa un desafío legal a nivel mundial de grandes proporciones para cualquier entidad que desee acceder a los recursos biológicos de un país en particular. En este sentido un nuevo enfoque de bioprospección, que incluye a la evolución como el proceso generador de los bienes esenciales actuales de la biodiversidad y sus futuras opciones de valor, permite sensibilizar a la sociedad sobre la herencia biocultural como un proceso que debe ser resguardado y protegido.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a los tres revisores anónimos que ayudaron a mejorar el escrito.

### **Declaración de conflictos de interés**

Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses financieros, personales ni en cuanto a la presentación de la información y resultados de este artículo.

### **Literatura citada**

Albuquerque UP, Medeiros PM. 2013. What is evolutionary ethnobiology? *Ethnobiology and Conservation* **2**: 6. <https://doi.org/10.15451/ec2013-8-2.6-1-04>

- Amiguet VT, Arnason JT, Maquin P, Cal V, Sanchez-Vindas P, Poveda-Alvarez. 2006. A regression analysis of q'eqchi' Maya medicinal plants from southern Belize. *Economic Botany* **60**: 24-38. DOI: [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2006\)60\[24:ARAOQM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2006)60[24:ARAOQM]2.0.CO;2)
- Amrita M, Arun KM. 2019. Development of herbal tablet formulation: Systematic approach. *Alternative and Integrative Medicine* **8**: 1.
- Ankli A, Sticher O, Heinrich M. 1999a. Yucatec Maya medicinal plants versus nonmedicinal plants: indigenous characterization and selection. *Human Ecology* **27**: 557-580. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1018791927215>
- Ankli A, Sticher O, Heinrich M. 1999b. Medical ethnobotany of the Yucatec Maya: healers' consensus as a quantitative criterion. *Economic Botany* **53**: 144-160. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02866493>
- Bennett BC, Husby CE. 2008. Patterns of medicinal plant use: An examination of the Ecuadorian Shuar medicinal flora using contingency table and binomial analyses. *Journal of Ethnopharmacology* **116**: 422-430. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.12.006>
- Blanckaert I, Paredes-Flores M, Espinosa-García FJ, Pinero D, Lira R. 2012. Ethnobotanical, morphological, phytochemical and molecular evidence for the incipient domestication of Epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.: Chenopodiaceae) in a semi-arid region of Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* **59**: 557-573. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9704-7>
- Bletter N. 2007. A quantitative synthesis of the medicinal ethnobotany of the Malinké of Mali and the Asháninka of Peru, with a new theoretical framework. *Journal Ethnobiology and Ethnomedicine* **3**:36. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-3-36>
- Borchardt JK. 2002. The Beginnings of drug therapy: ancient mesopotamian medicine. *Drug News & Perspectives* **15**: 187-192. DOI: <https://doi.org/10.1358/dnp.2002.15.3.840015>
- Casagrande DG. 2000. Human taste and cognition in Tzeltal Maya medicinal plant use. *Journal of Ecological Anthropology* **4**: 57-69. DOI: <https://doi.org/10.5038/2162-4593.4.1.3>
- CBD. 2010. Convenio sobre la Diversidad Biológica. <https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheets-es-web.pdf> (Accessed January 11, 2023).
- CBD. 2017. Primer Informe Nacional Provisional de la Implementación del Protocolo de Nagoya en México. <https://absch.cbd.int/es/database/NR/ABSCH-NR-MX-238713/1> (Accessed September 23, 2023).
- Chen S, Li Q, McClements DJ, Han Y, Dai L, Mao L, Gao Y. 2020. Co-delivery of curcumin and piperine in zein-carrageenan core-shell nanoparticles: Formation, structure, stability and in vitro gastrointestinal digestion. *Food Hydrocolloids* **99**: 105334. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105334>
- Cragg GM, Newman DJ. 2013. Natural products: a continuing source of novel drug leads. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects* **1830**: 3670-3695. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2013.02.008>
- Cupido M, De-Nova A, Guerrero-González ML, Pérez-Vázquez FJ, Méndez-Rodríguez KB, Delgado-Sánchez P. 2022. GC-MS analysis of phytochemical compounds of *Opuntia megarrhiza* (Cactaceae), an endangered plant of Mexico. *PeerJ Organic Chemistry* **4**: e5. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj-ochem.5>
- Cupido M, De-Nova JA, Cilia-López G. 2023. Catálogo de plantas medicinales de la región biocultural Huasteca. Proyecto CONACYT Ciencia de Frontera 320270. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. <https://biocultural.uaslp.mx> (Accessed March 1, 2023)
- Dalton R. 2004. Natural resources: bioprospects less than golden. *Nature* **429**: 598-600. DOI: <https://doi.org/10.1038/429598a>
- De-Nova JA, Villegas-Ortega DS, Cupido M, Cilia-López VG. 2023. Evolutionary clustering in neotropical biocultural heritage: the Huastec Mayan useful plants. *Botanical Journal of the Linnean Society* (advance access publication). DOI: <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boad061>
- Díaz-Toribio MH, De-Nova JA, Piedra-Malagón EM, Angulo DF, Sosa V. 2023. Wild and cultivated comestible plant species in the Gulf of Mexico: phylogenetic patterns and convergence of type of use. *AoB Plants* **15**: 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plad063>
- DOF [Diario Oficial de la Federación]. 2014. Decreto Promulgatorio del Protocolo de Nagoya sobre Acceso a los Re-

- cursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios que se Deriven de su Utilización al Convenio sobre la Diversidad Biológica, adoptado en Nagoya el veintinueve de octubre de dos mil diez. México D.F. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5363605&fecha=10/10/2014#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5363605&fecha=10/10/2014#gsc.tab=0) (Accessed 4 Sep, 2023).
- Douwes E, Crouch NR, Edwards TJ, Mulholland DA. 2008. Regression analyses of southern African ethnomedicinal plants: informing the targeted selection of bioprospecting and pharmacological screening subjects. *Journal of Ethnopharmacology* **119**: 356-364. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.07.040>
- Faith DP, Magallón S, Hendry AP, Conti E, Yahara T, Donoghue MJ. 2010. Evosystem services: an evolutionary perspective on the links between biodiversity and human well-being. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **2**: 66-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.04.002>
- Ferreira-Júnior WS, Medeiros PM, Albuquerque PU. 2022. Evolutionary ethnobiology. *Ethnobiology & Conservation* **11**: 1-8. DOI: <https://doi.org/10.15451/ec2022-04-11.10-1-8>
- Flores-Camargo FG, Sánchez-Dirzo MG. 2022. Maximino: Base de datos de plantas útiles de México. <https://www.maximinom.org> (Accessed July 1, 2023)
- Futuyma DJ. 1995. The uses of evolutionary biology. *Science* **267**: 41-42. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.7809608>
- Galm U, Shen B. 2007. Natural product drug discovery: The times have never been better. *Chemistry & Biology* **14**: 1098-1104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2007.10.004>
- Garnatje T, Peñuelas J, Vallès J. 2017. Ethnobotany, Phylogeny, and ‘Omics’ for Human Health and Food Security. *Trends in Plant Science* **22**: 187-191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.01.001>
- Geck MS, Cristians S, Berger-González M, Casu L, Heinrich M, Leonti M. 2020. Traditional Herbal Medicine in Mesoamerica: Toward Its Evidence Base for Improving Universal Health Coverage. *Frontiers in Pharmacology* **11**: 1-49. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.01160>
- Hamilton GR, Baskett TF. 2000. In the arms of Morpheus the development of morphine for postoperative pain relief. *Canadian Journal of Anaesthesia* **47**: 367-374. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03020955>
- Hao DC, Xiao PG. 2015. Genomics and Evolution in Traditional Medicinal Plants: Road to a Healthier Life. *Evolutionary Bioinformatics* **11**: 197-212. DOI: <https://doi.org/10.4137/EBO.S31326>
- Hart KH, Cox PA. 2000. A cladistic approach to comparative ethnobotany: Dye plants of the the southwestern United States. *Journal of Ethnobiology* **20**: 303-325.
- Heinrich M, Ankli A, Frei B, Weimann C, Sticher O. 1998. Medicinal plants in Mexico: healers’ consensus and cultural importance. *Social Science & Medicine* **47**: 1859-1871. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0277-9536\(98\)00181-6](https://doi.org/10.1016/s0277-9536(98)00181-6)
- Hernández-Hernández T, Brown JW, Schlumpberger BO, Eguiarte LE, Magallón S. 2014. Beyond aridification: multiple explanations for the elevated diversification of cacti in the New World Succulent Biome. *New phytologist* **202**: 1382-1397. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.12752>
- Hernández-Ordoñez SR. 2019. El protocolo de Nagoya en México: un análisis legal del cumplimiento y el papel de los protocolos comunitarios bioculturales. *Revista de la Facultad de Derecho de México* **69**: 611-646. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fder.24488933e.2019.275-2.69422>
- Joo YE. 2014. Natural product-derived drugs for the treatment of inflammatory bowel diseases. *Intestinal Research* **12**: 103-109. DOI: <https://doi.org/10.5217/ir.2014.12.2.103>
- Kumadoh D, Kwakye KO. 2017. Dosage forms of herbal medicinal products and their stability considerations-an overview. *Journal of Critical Reviews* **4**: 1-8.
- Leonti M. 2011. The future is written impact of scripts on the cognition, selection, knowledge and transmission of medicinal plant use and its implications for ethnobotany and ethnopharmacology. *Journal of Ethnopharmacology* **134**: 542-555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.01.017>
- Mawalagedera SM, Symonds MR, Callahan DL, Gaskett AC, Rønsted N. 2019. Combining evolutionary inference and metabolomics to identify plants with medicinal potential. *Frontiers in Ecology and Evolution* **7**: 267. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00267>

- Melgar-Fernández M. 2005. *Biotecnología y propiedad intelectual: un enfoque integrado desde el derecho internacional*. DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 970-32-2552-7
- Medeiros PM, Albuquerque UP. 2015. Use Patterns of Medicinal Plants by Local Populations. In: Albuquerque UP, Madeiros PM, Casas A, eds. *Evolutionary Ethnobiology*. Switzerland: Springer, pp. 7-20. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19917-7>
- Moerman DE. 1991. The medicinal flora of native North-America - an analysis. *Journal of Ethnopharmacology* **31**: 1-42. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-8741\(91\)90141-Y](http://dx.doi.org/10.1016/0378-8741(91)90141-Y)
- Moerman DE, Pemberton RW, Kiefer D, Berlin B. 1999. A comparative analysis of five medicinal floras. *Journal of Ethnobiology* **1**: 49-67.
- Molina-Venegas R, Fischer M, Mollel NP, Hemp A. 2020. Connecting plant evolutionary history and human well-being at Mt. Kilimanjaro, Tanzania. *Botanical Journal of the Linnean Society* **194**: 397-409. DOI: <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boaa049>
- Molina-Venegas R. 2021. Conserving evolutionarily distinct species is critical to safeguard human well-being. *Scientific Reports* **11**: 24187. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03616-x>
- Muñetón-Pérez P. 2009. Plantas medicinales: un complemento vital Para la salud de los mexicanos. entrevista con el Dr. Erick Estrada Lugo. *Revista Digital Universitaria* **10**: 1-9.
- Mushtaq S, Abbasi BH, Uzair B, Abbasi R. 2018. Natural products as reservoirs of novel therapeutic agents. *Journal Experimental and Clinical Sciences* **17**: 420. DOI: <https://doi.org/10.17179/excli2018-1174>
- Newman DJ, Cragg GM, Snader KM. 2003. Natural products as sources of new drugs over the period 1981-2002. *Journal of Natural Products* **7**: 1022-1037. DOI: <https://doi.org/10.1021/np030096l>
- Patwardhan B. 2005. Ethnopharmacology and drug discovery. *Journal of Ethnopharmacology* **100**: 50-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.06.006>
- Poulose N, Sajayan A, Ravindran A, Sreechithra TV, Vardhan V, Selvin J, Kiran GS. 2020. Photoprotective effect of nanomelanin-seaweed concentrate in formulated cosmetic cream: With improved antioxidant and wound healing properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* **205**: 111816. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111816>
- Prance GT, Chadwick D, Marsh J. 1994. *Ethnobotany and the Search for New Drugs*. Chichester, UK: John Wiley & Sons. ISBN: 0471950246
- Reid WV, Laird S, Meyer CA, Gámez R, Sittenfeld A, Janzen DH, Gollin MA, Juma C. 1993. *Biodiversity Prospecting: Using Genetic Resources for Sustainable Development*. Washington, DC: World Resources Institute. ISBN: 0-915825-89-9
- Rønsted N, Savolainen V, Mølgaard P, Jäger AK. 2008. Phylogenetic selection of Narcissus species for drug discovery. *Biochemical Systematics and Ecology* **36**: 417-422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bse.2007.12.010>
- Rønsted N, Symonds MRE, Birkholm T, Birkholm T, Brøgger S, Meerow AW, Molander M, Mølgaard P, Petersen G, Rasmussen N, van Staden J, Stafford GI, Jäger AK. 2012. Can phylogeny predict chemical diversity and potential medicinal activity of plants? A case study of amaryllidaceae. *BMC Ecology and Evolution* **12**: 182 DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2148-12-182>
- Salazar-Aranda R, Pérez-López LA, Rivas-Galindo V, de Torres NW. 2013. Antimicrobial activity of plants used in México for gastrointestinal and respiratory disorders. In: Shahid M, Malik A, ASahai S. eds. *Recent Trends in Biotechnology and Therapeutic Applications of Medicinal Plants*. New York London: Dordrecht Springer. pp. 131-188. ISBN: 978-94-007-6602-0 DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6603-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6603-7_7)
- Sansores-España D, Pech-Aguilar AG, Cua-Pech KG, Medina-Vera I, Guevara-Cruz M, Gutiérrez-Solis AL, Reyes-García JG, 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**: 2008. <https://doi.org/10.3390/molecules27062008>
- Santoro FR, Nascimento ALB, Soldati GT, Ferreira Júnior WS, Albuquerque UP. 2018. Evolutionary ethnobiology and cultural evolution: opportunities for research and dialog. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* **14**: 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13002-017-0199-y>

- Saslis-Lagoudakis CH, Williamson EM, Savolainen V, Hawkins JA. 2011a. Cross-cultural comparison of three medicinal floras and implications for bioprospecting strategies. *Journal of Ethnopharmacology* **135**: 476-487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.03.044>
- Saslis-Lagoudakis CH, Klitgaard BB, Forest F, Francis L, Savolainen V, Williamson EM, Hawkins JA. 2011b. The use of phylogeny to interpret cross-cultural patterns in plant use and guide medicinal plant discovery: an example from *Pterocarpus* (Leguminosae). *Plos One* **6**: e22275. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022275>
- Saslis-Lagoudakis CH, Savolainen V, Williamson EM, Forest F, Wagstaff SJ, Baral SR, Watson FM, Colin AP, Hawkins JA. 2012. Phylogenies reveal predictive power of traditional medicine in bioprospecting. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **39**: 15835-15840. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1202242109>
- Sneider W. 2005. *Drug discovery: a history*. England: John Wiley & Sons. ISBN: 9780471899792
- Tu Y. 2011. The discovery of artemisinin (qinghaosu) and gifts from Chinese medicine. *Nature Medicine* **17**: 1217-1220. DOI: <https://doi.org/10.1038/nm.2471>
- Tucker MC, Aze T, Cadotte MW, Cantalapiedra JL, Chisholm C, Díaz S, Grenyer R, Huang D, Mazel F, Pearse WD, Pennell MW, Winter M, Mooers AO. 2019. Assessing the utility of conserving evolutionary history. *Biological Reviews* **94**: 1740-1760. DOI: <https://doi.org/10.1111/brv.12526>
- Unschuld PU. 1986. *Medicine in China: A History of Pharmaceuticals*. California: University of California Press. ISBN: 0520050258
- Valdivia-Correa B, Gómez-Gutiérrez C, Uribe M, Méndez-Sánchez N. 2016. Herbal Medicine in Mexico: A Cause of Hepatotoxicity. A Critical Review. *International Journal of Molecular Sciences* **17**: 235. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms17020235>
- Villanueva-Almanza L. 2021. Cómo una planta ahora olvidada de los bosques tropicales mexicanos revolucionó la vida de las mujeres. *Botany One*. <https://botany.one/2021/03/como-una-planta-ahora-olvidada-de-los-bosques-tropicales-mexicanos-revoluciono-la-vida-de-las-mujeres/> (Accessed 10 Feb, 2023)
- Watanabe KN, Teh GH. 2011. Wanted: bioprospecting consultants. *Nature Biotechnology* **29**: 873-875. DOI: <https://doi.org/10.1038/nbt.2001>
- Watkins R, Wu L, Zhang C, Davis RM, Xu B. 2015. Natural product-based nanomedicine: recent advances and issues. *International journal of nanomedicine* **10**: 6055-6074. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S92162>
- WHO [World Health Organization]. 2018. Annex 1. WHO guidelines on good herbal processing practices for herbal medicines. Technical Report Series. Geneva, Switzerland: WHO headquarters.
- Zhu F, Qin C, Tao L, Liu X, Shi Z, Ma X, Jia J, Tan Y, Cui C, Lin J, Tan C. 2011. Clustered patterns of species origins of nature-derived drugs and clues for future bioprospecting. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **108**: 12943-12948. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1107336108>
- Zuluaga G, Correa C. 2002. *Medicinas tradicionales: Introducción al estudio de los sistemas tradicionales de salud y su relación con la medicina moderna*. Bogotá, DC: Editorial Kimpres Ltda. ISBN: 9588077540.

---

**Editor de sección:** Teresa Terrazas

**Contribución de los autores:** MC generó la idea original, desarrolló la revisión bibliográfica, preparó las figuras y la estructuración del manuscrito. JADN desarrolló la idea original, editó las figuras y estructuró el manuscrito. VGCL participó en la revisión y estructuración del manuscrito.

**Entidades financiadoras:** Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología proyecto CF-320270 y Beca de doctorado CVU 1007054.