

© 2025 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 28: 1-10, 2025.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2025.766>

## Aplicaciones bioactivas de *Juniperus* Sección *Sabina* de Norteamérica. Una revisión

J. Rolando Rueda-Torres<sup>1</sup>, M. Socorro González-Elizondo<sup>2</sup>  
y Ana B. Gatica-Colima<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Biomédicas (ICB), Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), Anillo  
envolvente del PRONAF y Estocolmo s/n. Colonia Progresista, 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua,

México. <sup>2</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR),  
Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Sigma #119, Fraccionamiento 20 de noviembre II,  
34220, Durango, Durango, México. E-mail: \*agatica@uacj.mx

### RESUMEN

*Juniperus* o enebros de la Sección *Sabina* de Norteamérica son un grupo de árboles y arbustos de la familia Cupressaceae, cuya distribución geográfica abarca al oeste de Norteamérica hasta el norte de Guatemala. La Sección comprende 61 especies y un subgrupo de 22 de ellas, que se caracterizan por presentar hojas de márgenes aserrados. Las especies de este subgrupo contienen hasta 191 metabolitos, sin embargo, dentro de estos, el que destaca es el  $\alpha$ -pineno por sus diversas actividades biológicas. El objetivo de esta revisión es mostrar el efecto, potencial, de la aplicación de los metabolitos secundarios de los enebros de la Sección *Sabina* de Norteamérica. Por lo que se consultaron las publicaciones disponibles en Google Scholar, Science Direct, PubMed y SciELO del año 2000 al 2024. En las que se mencionan su capacidad antioxidante, su citotoxicidad, así como su actividad antibacteriana, antifúngica, insecticida, antiprotista, antihelmíntica, cicatrizante, antiinflamatoria y antidiabética. Se concluye que la Sección *Sabina* ofrece un amplio potencial farmacológico y una alternativa como fuente de compuestos biológicos para ser aprovechados en diversas industrias.

**Palabras clave:** aceites, bioactividad, enebros, metabolitos secundarios, potencial farmacológico.

### Bioactive applications of *Juniperus* Section *Sabina* of North America. A review

### ABSTRACT

*Juniperus*, or junipers of the *Sabina* Section of North America, are a group of trees and shrubs in the Cupressaceae family, whose geographical distribution spans western North America to northern Guatemala. The Section comprises 61 species and a subgroup of 22 of them, characterized by having leaves with serrated margins. The species of this subgroup contain up to 191 metabolites; however, among these,  $\alpha$ -pinene stands out for its diverse biological activities. The objective of this review is to show the potential effect of the application of secondary metabolites from junipers of the *Sabina* Section of North America. Therefore, publications available in Google Scholar, Science Direct, PubMed, and SciELO from 2000 to 2024 were consulted. These publications mention their antioxidant capacity, cytotoxicity, as well as their antibacterial, antifungal, insecticidal, antiprotist, anthelmintic, wound healing, anti-inflammatory, and antidiabetic activities. It is concluded that the *Sabina* Section offers broad pharmacological potential and an alternative source of biological compounds for use in various industries.

**Keywords:** oils, bioactivity, junipers, secondary metabolites, pharmacological potential.

## INTRODUCCIÓN

**J**uniperus (Cupressaceae) son un grupo de gimnospermas conocidos como cedros, enebros o táscales. El género comprende un aproximado de 75 especies divididas en tres secciones: *Caryocedrus* Endl. (una sola especie), *Juniperus* (≈14) Spach y *Sabina* (≈60), (Mill.) Spach (Adams, 2014). Estos fueron reconocidos a nivel de género por Yang *et al.* (2022), sin embargo, reclasifican a *Caryocedrus* como *Arceuthos* Antoine & Kotschy, pero conservando sin cambios a *Juniperus* Spach y *Sabina* Mill. La sección *Sabina* está compuesta por árboles y arbustos dioicos o raramente monoicos y hojas maduras escuamiformes. La sección incluye 61 especies y se subdivide en cuatro grupos con base en el margen de las hojas y el número de semillas de las bayas o estróbilos femeninos de acuerdo a (Mao, Hao, Liu, Adams & Milne, 2010; Adams & Schwarzbach, 2013; Adams, 2014; Mazur, 2021) y son los siguientes: **1)** Enebros de hojas aserradas, distribuidos en Norteamérica (22 especies); **2)** Especies de hojas enteras y conos turbinados o elipsoidales con una sola semilla de Asia (16 especies); **3)** Enebros con hojas enteras y frutos ovoides con 2-6 semillas (raramente una) de Europa, Asia y África (6 especies) y **4)** Especies con una o más semillas por cono y distribuidas en Europa, Asia y África (17 especies), (Adams, 2014).

Como parte de los elementos biológicos disponibles en la región, los primeros pobladores de Norteamérica utilizaron de los enebros (hojas, tallos, estróbilos y resina) para curar enfermedades (Fagetti, 2011). Especies como *Juniperus occidentalis* Hook, *J. osteosperma* (Torr.) Little y *J. californica* Carriere las usaron para tratar infecciones, fiebres, como anticonceptivos, diuréticos y problemas en el sistema digestivo (Saeed, 2010; Kaufer, 2021). El modo de empleo es por medio de infusiones de bayas de *J. flaccida* Schltdl. para curar las enfermedades del tracto urinario masculino (Camacho-Hernández, Lagunez-Rivera, Aguilar-Contreras & Solano, 2022) y con *J. deppeana* Steud. para las del sistema respiratorio (tos), (CONABIO, 2014). El objetivo principal de esta revisión es mostrar las aplicaciones, y efectividad, de los metabolitos secundarios de *Juniperus* de la Sección *Sabina* de Norteamérica.

## METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática de las publicaciones del año 2000 al 2024 registradas en Google Scholar, Science Direct, PubMed y SciELO. La búsqueda se realizó con la mención de las especies de *Juniperus*, pertenecientes a la sección *Sabina* de Norteamérica, entre comillas y en conjunción con los operadores booleanos (AND, OR y NOT) y la actividad biológica deseada en español e inglés de (antioxidante, citotóxico, antibacterial, antifúngico, insecticida, acaricida, cicatrizante, antiinflamatorio, antihelmíntica, antiprotista y antidiabético). Se integraron los artículos o capítulos de libros en los que se reportó alguna bioactividad, independiente de si el producto se trataba de materia seca, extractos alcohólicos o aceites esenciales de madera, ramas,

hojas o bayas de enebro. Se descartaron artículos incompletos y tesis de investigaciones de cualquier nivel.

## RESULTADOS

### *Juniperus* sección *Sabina* de Norteamérica

Este subgrupo se caracteriza por sus hojas aserradas con conos de una a 13 semillas. Integrado por 22 especies: *Juniperus californica* Carriere, *J. arizonica* (R.P. Adams) R.P. Adams, *J. monosperma* (Engelm.) Sarg., *J. coahuilensis* (Martínez) Gausson ex R.P. Adams, *J. angosturana* R.P. Adams, *J. pinchotii* Sudworth, *J. comitana* Martínez, *J. occidentalis* Hook, *J. osteosperma* (Torr.) Little, *J. grandis* R.P. Adams, *J. martinensis* Pérez de la Rosa, *J. duranguensis* Martínez, *J. poblana* (Martínez) R.P. Adams, *J. monticola* Martínez, *J. jaliscana* Martínez, *J. flaccida* Schltdl., *J. standleyi* Steyerl., *J. ovata* R.P. Adams, *J. saltillensis* M.T. Hall, *J. zanonii* R.P. Adams, *J. ashei* J. Buchholz y *J. deppeana* Steud (Adams, 2014). Distribuidas exclusivamente en Norteamérica, principalmente en zonas montañosas, pero también en zonas áridas y semiáridas (Uckele, Adams, Schwarzbach & Parchman, 2021).

Se recuperó un total de 6,274 trabajos de investigación, pero se descartaron 6,248 al no cumplir con los criterios de selección de la especie correspondiente a la Sección *Sabina* de Norteamérica y a la actividad biológica. Se seleccionaron 26 artículos en los que se hacía referencia a los productos: **i)** materia seca, aceite esencial o extracto alcohólico de madera, ramas, hojas o bayas de alguna de las especies o variedad de enebros de la sección y **ii)** estudios de algún tipo de actividad biológica para un total de siete especies de la sección.

### Principales actividades biológicas de *Juniperus* sección *Sabina* de Norteamérica

En los enebros de esta sección se conocen diversas actividades biológicas entre las que destacan la antioxidante, citotóxica, antibacterial, antifúngica, insecticida, acaricida, cicatrizante, antiinflamatoria, antihelmíntica, antiprotista y antidiabética (Tabla I).

### Compuestos activos

En *Juniperus* se han estudiado hasta 580 compuestos orgánicos alifáticos y aromáticos, en los que destacan la presencia de ácidos polifenólicos, cumarinas, diterpenos, esteroides, estilbenos, flavonoides, lignanos, podofilotoxinas, sesquiterpenos y terpenoides, entre otros (Seca & Silva, 2006; Olech *et al.*, 2020). Estos metabolitos se obtienen a partir de los aceites esenciales o extractos derivados de la destilación de la madera, hojas y bayas de los enebros (Butkienė, Nivinskienė, Mockutė & Miliūtė, 2007). En los destilados se destaca la presencia del grupo de los terpenos como:  $\alpha$ -Pineno,  $\alpha$ -Cedrol,  $\alpha$ -Terpineol,  $\beta$ -Felandreno,  $\beta$ -Pineno, Acetato de Bornilo, Alcanfor, Elemol, Limoneno, Mirceno y Sabineno, entre otros (Adams, 2000; Miceli *et al.*, 2011; Najjar, Pistelli, Mancini & Fratini, 2020).

**Tabla I. Actividades biológicas de *Juniperus* sección *Sabina*.**

| Especie                                      | Actividad biológica | Referencias                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Juniperus angosturana</i> . R.P. Adams    | Antiinflamatorio    | Wen <i>et al.</i> , 2024; Zhang <i>et al.</i> , 2024                                                                                                                                                                                      |
| <i>Juniperus pinchotii</i> Sudworth          | Antioxidante        | Samusenko, 2008; Olech <i>et al.</i> , 2020                                                                                                                                                                                               |
|                                              | Citotóxico          | Ivanova <i>et al.</i> , 2021                                                                                                                                                                                                              |
|                                              | Antibacterial       | Ivanova <i>et al.</i> , 2023                                                                                                                                                                                                              |
|                                              | Antifúngico         | Ivanova <i>et al.</i> , 2023                                                                                                                                                                                                              |
|                                              | Antihelmíntico      | Armstrong <i>et al.</i> , 2013; Whitney <i>et al.</i> , 2013                                                                                                                                                                              |
| <i>Juniperus occidentalis</i> Hook           | Antibacterial       | Johnston <i>et al.</i> , 2001                                                                                                                                                                                                             |
|                                              | Antifúngico         | Johnston <i>et al.</i> , 2001; Sichamba <i>et al.</i> , 2012; Tumen <i>et al.</i> , 2012; Wang <i>et al.</i> , 2012; Miyamoto <i>et al.</i> , 2019; Scouse <i>et al.</i> , 2015; Lipeh <i>et al.</i> , 2020; Pipiška <i>et al.</i> , 2021 |
|                                              | Insecticida         | Sichamba <i>et al.</i> , 2012; Dolan <i>et al.</i> , 2014; Lipeh <i>et al.</i> , 2020                                                                                                                                                     |
|                                              | Acaricida           | Dolan <i>et al.</i> , 2014                                                                                                                                                                                                                |
|                                              | Cicatrizante        | Tumen <i>et al.</i> , 2013                                                                                                                                                                                                                |
|                                              | Antiinflamatorio    | Tumen <i>et al.</i> , 2013                                                                                                                                                                                                                |
|                                              | Antiprotista        | Manter <i>et al.</i> , 2006, 2007                                                                                                                                                                                                         |
| <i>Juniperus osteosperma</i> (Torr.) Little  | Antioxidante        | Acuña <i>et al.</i> , 2002                                                                                                                                                                                                                |
|                                              | Antibacterial       | Purkayastha <i>et al.</i> , 2012                                                                                                                                                                                                          |
| <i>Juniperus martinezii</i> Pérez de la Rosa | Citotóxico          | Doussot <i>et al.</i> , 2016                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Juniperus ashei</i> J. Buchholz           | Antioxidante        | Olech <i>et al.</i> , 2020                                                                                                                                                                                                                |
|                                              | Citotóxico          | Ivanova <i>et al.</i> , 2021                                                                                                                                                                                                              |
|                                              | Antibacterial       | Ivanova <i>et al.</i> , 2023                                                                                                                                                                                                              |
|                                              | Antifúngico         | Tumen <i>et al.</i> , 2012; Ivanova <i>et al.</i> , 2023                                                                                                                                                                                  |
|                                              | Cicatrizante        | Tumen <i>et al.</i> , 2013                                                                                                                                                                                                                |
|                                              | Antiinflamatorio    | Tumen <i>et al.</i> , 2013                                                                                                                                                                                                                |
| <i>Juniperus deppeana</i> Steud              | Citotóxico          | Nieto <i>et al.</i> , 2008                                                                                                                                                                                                                |
|                                              | Antidiabético       | Monribot-Villanueva <i>et al.</i> , 2020                                                                                                                                                                                                  |

Entre estos compuestos el  $\alpha$ -Pineno se distingue por presentar una amplia gama de actividades biológicas como: el antibacteriano, antifúngico, antiinflamatorio, antioxidante, gastroprotector, insecticida, nematocida, apoptótico, neuroprotector, antitumoral, antimetástico, antiviral y antileishmanial (Allenspach & Steuer, 2021), al igual que el Limoneno que actúa como antiinflamatorio, antioxidante, anticonceptivo, anticancerígeno, antidiabético, antihiperalgésico, antiviral y gastroprotector (Vieira, Beserra, Souza, Totti & Rozza, 2018).

En *Juniperus* de la Sección *Sabina* de Norteamérica se han identificado hasta 191 compuestos orgánicos, en los extractos de aceites esenciales, provenientes de las hojas, cuya proporción varía entre especies. Los predominantes son el  $\alpha$ -Pineno, con

una concentración desde 0.9% en *J. ashei* hasta 65.7% en *J. comitana*, seguido del **Alcanfor** con 0.1% en *J. comitana* y 64.9% en *J. ashei*; **Acetato de Bornilo** con <0.1% en *J. coahuilensis* y 39.1% en *J. monticola*; **Limoneno** con 0.1% en *J. occidentalis* Hook y 24% en *J. jaliscana*; **Sabineno** con un 0% en *J. ashei* y un 31.9% en *J. saltillensis*;  **$\delta$ -3 Careno** con un 0% *J. coahuilensis* y *J. monticola* a 19.4% en *J. durangensis*; **Terpinen-4-ol** con un 0.2% en *J. comitana* y un 13.9% en *J. coahuilensis* y  **$\beta$ -Felandreno** con 0% en *J. ashei* a 10.7% en *J. deppeana* (Adams, 2000).

#### Actividad antioxidante

Los radicales libres son moléculas inestables que reaccionan fácilmente con los elementos celulares y tienen la capacidad de

que al oxidar a las biomoléculas generan diversas patologías, aunque el cuerpo presente mecanismos enzimáticos y no enzimáticos (antioxidantes) para mitigar los efectos dañinos (González-Torres, Betancourt-Rule & Ortiz-Muñiz, 2000; Saavedra, Vázquez, Vargas & Reyes, 2010). Se ha determinado que los compuestos fenólicos vegetales actúan como agentes antioxidantes al capturar los radicales libres y favorecer su neutralización (Muñoz, Ramos-Escudero, Alvarado-Ortiz & Castañeda, 2007). Estos compuestos se concentran en una mayor proporción en frutos y semillas debido a que ayudan a la germinación y protección del embrión (Zamora-Natera, García-López, Ruiz-López, Rodríguez-Macías & Salcedo-Pérez, 2009).

Se han usado los extractos de hojas y de bayas de los enebros para comprobar la actividad antioxidante de sus compuestos. En el caso particular de la Sección *Sabina* se conoce que los extractos metanólicos de las bayas de *J. osteosperma* no muestran una actividad antioxidante ante el 2,2'-difetil-1-picrilhidrazilo (DPPH-IC<sub>50</sub>=265.32 ± 3.78 µg/mL), (Acuña, Atha, Ma, Nee & Kennelly, 2002). En cambio, los extractos metanólicos de las hojas de *J. ashei* tienen una fuerte actividad antioxidante hacia el DPPH (DPPH-EC<sub>50</sub>=49 ± 1 µg/mL), inhiben al ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico), (ABTS-EC<sub>50</sub>=331,64 ± 51 µg/mL) y a la lipoxigenasa (LOX-EC<sub>50</sub>=1.77 mg/mL), pero con una respuesta quelante pobre de (EC<sub>50</sub>>2.5 <3 mg/mL), a diferencia de los extractos metanólicos de las hojas de *J. pinchotii*, con una actividad quelante moderada (EC<sub>50</sub>>1 <1.5 mg/mL) e inhibitoria de la lipoxigenasa (LOX-EC<sub>50</sub>>1.77 <2 mg/mL) y capacidad antioxidante baja (DPPH-EC<sub>50</sub>=70 ± 1 µg/mL), (Olech *et al.*, 2020). No obstante, se ha observado que el aceite esencial de las bayas de esta especie presenta una baja actividad antioxidante ante la presencia del trans-2-hexenal (Samusenko, 2008).

#### Actividad citotóxica

La citotoxicidad es la alteración de las funciones celulares a partir de la incorporación de un xenobiótico a un modelo biológico, que altera su metabolismo, proliferación y viabilidad celular como consecuencia de la interacción (Freyre, Estrada & Bolaños, 2009; Gallegos-Hernández, 2018). Entre estos agentes están los siguientes metabolitos vegetales: alcaloides, lignanos, flavonoides y las quinonas, entre otros, sustancias que actúan contra diversas líneas celulares cancerígenas (Cendales & Suárez, 2016). Los extractos metabólicos de *Juniperus* son citotóxicos en diferentes líneas celulares cancerígenas, principalmente aquellos que tienen podofilotoxina, es el caso de lignanos del tipo Aril-Tetralina (Ionkova, 2007).

Los extractos etanólicos de las hojas de *J. martinezii* no son citotóxicos hacia las líneas celulares A549 (Carcinoma pulmonar), U373 (Astrocitoma de glioblastoma), Hs683 (Glioblastoma multiforme) y SK-MEL-28 (Melanoma cutáneo), debido a la ausencia de podofilotoxinas (Doussot *et al.*, 2016). De manera similar, los extractos obtenidos de *J. pinchotii* y *J. ashei*,

a partir de cromatografía líquida de ultra alta resolución, con un nulo efecto contra la línea NB4 (Leucemia promielocítica aguda) debido a la ausencia de los compuestos arriba mencionados (Ivanova *et al.*, 2021). En cambio, el extracto etanólico del tallo y las hojas de *J. deppeana* redujo hasta en un 90% la viabilidad en la línea celular HeLa (Carcinoma cervical) a las 24 y 48 horas (CI<sub>50</sub>=4.625 µg/mL), (Nieto, Pérez, Mendoza & Maldonado, 2008).

#### Actividad antibacteriana

Los antimicrobianos son sustancias de origen natural o sintético que eliminan a las bacterias o inhiben su multiplicación (Espitia, Lozano & Suárez, 2022). En la sección *Juniperus* los extractos de las hojas y los aceites esenciales tienen carácter inhibitorio o bactericida hacia las bacterias gramnegativas y grampositivas, debido a la presencia de los monoterpenos (Najar *et al.*, 2020), los terpenoides (Gordien, Gray, Franzblau & Seidel, 2009), los alcaloides, los flavonoides, las saponinas y los taninos (Asili, Emami, Rahimizadeh, Fazly-Bazzaz & Hassanzadeh, 2010).

Dentro de la sección *Sabina*, el efecto antibacteriano es influenciado por el origen del compuesto (extracto o aceite esencial); por ejemplo, el extracto metanólico de la madera (duramen) de *J. occidentalis* tuvo un efecto inhibitorio contra *Actinomyces bovis* Harz, 1877 y una débil acción contra *Fusobacterium necrophorum* (Flügge, 1886) Moore & Holdeman, 1969 y *Clostridium perfringens* (Veillon & Zuber, 1898) Hauduroy *et al.*, 1937, mientras que el aceite esencial mostró una moderada acción contra *A. bovis*, débil hacia *C. perfringens* y sin efecto sobre *F. necrophorum* (Johnston, Karchesy, Constantine & Craig, 2001). En bioensayos con los extractos metanólicos de *J. pinchotii* y *J. ashei* encontraron una débil inhibición de las bacterias grampositivas como *Staphylococcus epidermidis* (Winslow & Winslow, 1908) Evans, 1916; *Enterococcus faecalis* (Andrewes & Horder, 1906) Schleifer & Kilpper-Bälz, 1984; *Micrococcus luteus* (Schroeter, 1872) Cohn, 1872; *Bacillus subtilis* (Ehrenberg, 1835) Cohn, 1872; *B. cereus* Frankland & Frankland, 1887; *Streptococcus pyogenes* Rosenbach, 1884; *S. pneumoniae* (Klein, 1884); Chester, 1901 y *S. mutans* Clarke, 1924 y nula acción contra las bacterias gramnegativas como *Escherichia coli* (Migula, 1895); Castellani & Chalmers, 1919, *Salmonella typhimurium* (ex Kauffmann & Edwards, 1952); Le Minor & Popoff, 1987, *Klebsiella pneumoniae* (Schroeter, 1886); Trevisan, 1887, *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter, 1872); Migula, 1900 y *Proteus mirabilis* Hauser, 1885 (Ivanova *et al.*, 2023). Por su parte las diluciones metanólicas del aceite esencial de *J. osteosperma* lograron inhibir activamente a *Staphylococcus aureus* Rosenbach, 1884, a *Enterococcus* sp., a *E. coli*, a *K. pneumoniae* y a *P. aeruginosa* pero no tuvieron efecto en contra de *S. aureus*, resistente a la meticilina igual que *Acinetobacter* sp., Brisou & Prévot, 1954 (Purkayastha, Narain & Dahiya, 2012).



### Actividad antifúngica

El efecto antifúngico corresponde a la acción de diversos compuestos que logran eliminar o evitar la proliferación de los hongos, principalmente al interrumpir sus procesos biológicos como la reproducción o la síntesis de glucanos de la pared celular (Gregori, 2005). En las plantas los metabolitos secundarios ayudan en la defensa contra los hongos; estas sustancias son constantemente producidas como parte de su metabolismo y se van acumulando en diferentes partes de sus tejidos (Camacho-Hernández, Lagunez-Rivera, Aguilar-Contreras & Solano, 2022). El uso de estos metabolitos en los bioensayos ha demostrado su actividad antifúngica (Moreno et al., 2000).

En el duramen de *J. occidentalis* vieron de una alta a moderada resistencia al ataque de hongos de la podredumbre parda *Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill y *Rhodonia placenta* (Fr.) Niemelä, K.H.Larss. & Schigel y al hongo de la podredumbre blanca *Trametes versicolor* (L.) Lloyd (Miyamoto, Konkler, Leavengood, Morrell & Sinha, 2019; Lipeh, Schimleck, Mankowski, McDonald & Morrell, 2020; Pipiška, Cappellazzi, Leavengood, Kamke, Presley & Děcký, 2021). Por otra parte, los diferentes compuestos de *J. occidentalis* tienen acciones diferentes según el hongo y son: **i)** los extractos alcohólicos (hexanol, etanol y metanol) presentan efectos inhibitorios contra *T. versicolor* e *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. (Tumen, Eller, Clausen & Teel, 2012); **ii)** el aceite esencial de débil acción contra *Candida albicans* (C.P. Robin); Berkhout, 1923 (Johnston et al., 2001); **iii)** el aceite esencial de las hojas con un nulo efecto protector hacia la madera de álamo (*Populus trichocarpa* Torr. & A. Gray × *Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall) expuesta a mohos del tipo *Trichoderma* spp., *Aspergillus niger* P.E.L. van Tieghem, *Penicillium citrinum* Thom y *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (Scouse, Kamke & Morrell, 2015).

En cuanto a los aceites esenciales extraídos de las ramas, sus efectos protectores se reflejan en la albura de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* P. Lawson & C. Lawson) y pino del sur (*Pinus* sp.) ante *R. placenta* (Sichamba, Morrell & Leavengood, 2012). Por su parte, el aceite esencial de las hojas de *J. occidentalis* no protege a la albura de pino (*Pinus ponderosa*) ni al álamo amarillo (*Liriodendron tulipifera* L.) expuestas al ataque de *A. niger* y *P. citrinum* y con poca eficacia contra *R. placenta* y *T. versicolor* (Wang, Li, Freitag, Morrell & Karchesy, 2012).

En el caso de *J. ashei*, los extractos alcohólicos (hexanol, etanol y metanol) del duramen inhiben a los hongos de la podredumbre blanca (*T. versicolor*, *I. lacteus*), (Tumen et al., 2012). Sin embargo, la diferencia es con los extractos metanólicos de las hojas de esta especie y de *J. pinchotii* que no son inhibitorios en los bioensayos con levaduras del género *Candida* [*C. albicans*, *C. parapsilosis* (Ashford) Langeron & Talice, *C. glabrata* (H.W. Anderson) S.A. Mey. & Yarrow, *C. krusei* (Castell.) Berkhout] (Ivanova et al., 2023).

### Otros efectos biológicos

En los estudios que realizaron con *J. occidentalis* (Sichamba et al., 2012; Lipeh et al., 2020) vieron que al aplicar los extractos de esta especie en *Reticulitermes flavipes* (Kollar, 1837) su acción es biocida. Este efecto se ha observado también en *Ixodes scapularis* Say, 1821, *Xenopsylla cheopis* Rothschild, 1903, *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762), (Dolan, Dietrich, Panella, Monteneri & Karchesy, 2014) y *Phytophthora ramorum* Werres, De Cock & Man (Manter, Karchesy & Kelsey, 2006; Manter, Karchesy & Kelsey, 2007), en cuanto al uso de los extractos de *J. pinchotii* en *Haemonchus contortus* (Rudolphi, 1803), Cobb, 1898, el resultado es positivo debido a la ivermectina (Armstrong et al., 2013; Whitney, Wildeus & Zajac, 2013).

Los extractos acuosos del té Gan Lu, utilizado en la medicina tradicional China, tiene entre sus ingredientes a *J. angosturana* y a otras plantas medicinales (*Rhododendron anthopogonoides* Maxim., *Ephedra sinica* Stapf, *Myricaria platyphylla* Maxim., *Artemisia sieversiana* Ehrh. ex Willd.), son antiinflamatorias en la artritis reumatoide (Wen et al., 2024; Zhang et al., 2024). Los ungüentos elaborados a partir de los aceites esenciales del duramen de *J. occidentalis* presentan actividad cicatrizante y antiinflamatoria en los bioensayos con roedores a diferencia del extracto del duramen de *J. ashei*, que carece de estas bioactividades (Tumen, Süntar, Eller, Keleş & Akkol, 2013). Por último, los extractos metanólicos de las hojas de *J. deppeana* son utilizados como antidiabéticos, lo que hace a esta especie una fuente potencial de compuestos bioactivos (Monribot-Villanueva, Rodríguez-Fuentes, Landa-Cansigno, Infante-Rodríguez, Díaz-Abad & Guerrero-Analco, 2020).

### DISCUSIÓN

La investigación sobre los metabolitos secundarios de los enebros de la sección *Sabina* de Norteamérica y sus aplicaciones bioactivas potenciales, plantea oportunidades para aprovechar a estas especies nativas como fuentes alternativas de compuestos de interés, debido a que los enebros de esta Sección tienen diversas actividades biológicas de gran importancia, al igual que la sección *Arceuthos* (*Caryocedrus*), (Miceli et al., 2011; Akbulut & Akbulut, 2023; Göktürk & Alkış, 2023), *Juniperus* (Huang et al., 2021; Gonçalves, Flores-Félix, Coutinho, Alves & Silva, 2022; Belov et al., 2023) y *Sabina* de Europa, África y Asia (Angioni, Barra, Russo, Coroneo, Dessì & Cabras, 2003; Khan et al., 2022; Lafraxo et al., 2022). Sin embargo, es importante realizar la caracterización metabolómica de las diferentes especies y subpoblaciones de la Sección norteamericana, debido a que el origen del material vegetal tiene efectos significativos en la concentración de metabolitos (Olech et al., 2020), como se ha reportado en *J. occidentalis* (*Sabina* de Norteamérica) en donde el compuesto como el Cedrol tiene 59.53% en ejemplares de Idaho y 12.70% en los de Oregón (Miyamoto et al., 2019), en lo que respecta a *J. rigida* Siebold & Zucc. (*Sabina* de Asia), presenta 26.60% de  $\alpha$ -Pino en ejemplares de Jilin y 11.81%

en los de Shaanxi (Liu, Kuang, Qing, Wang & Li, 2019) y en *J. phoenicea* L. (sección *Sabina* europea), el  $\alpha$ -Pino tiene 55.7% en los enebros de Matmata y 25.5% en Tabarka (Ennajar *et al.*, 2011). Aunado a esto, se ha observado que la concentración de los compuestos bioactivos se ve influenciada por: **i)** el tipo de disolvente (Tumen *et al.*, 2012, 2013); **ii)** el método de extracción (Damjanovic, Skala, Petrovic-Djakov & Baras, 2003; Salih *et al.*, 2021); **iii)** el sexo de la planta (Asili *et al.*, 2010; Zheljazkov, Astatkie & Jeliazkova, 2013); **iv)** la variedad (Kilani, Abdelwahed & Ben Ammar, 2008), **v)** estación (Ennajar *et al.*, 2011; Zheljazkov *et al.*, 2013); **vi)** el tipo de suelo (Ennajar *et al.*, 2011; Feng *et al.*, 2021); **vii)** la latitud y la altitud (Martz, Peltola, Fontanay, Duval, Julkunen-Tiitto & Stark, 2009; Radoukova *et al.*, 2018; Kuang *et al.*, 2019); **viii)** el tipo de tejido (raíz, tallos, ramas, hojas o bayas), (Tunalier, Kirimer & Baser, 2002, 2003; Butkienė, Budienė, & Judzientienė, 2015; Salih *et al.*, 2022) y en el caso de las bayas, **ix)** la madurez de estas (Angioni *et al.*, 2003; Butkienė, Nivinskienė & Mockutė, 2006; Bakkour, El-Achi Tabcheh, El-Nakat & El Omar, 2013).

Cabe señalar que los bioactivos de estos enebros son de baja toxicidad. En los bioensayos con ratones (CBA/J) y conejos (NZW) expuestos a diversas concentraciones (0.5%, 5% y 50%) del aceite esencial del duramen de *J. occidentalis*: se observó que en los ganglios linfáticos tratados con bajas concentraciones no hubo hipersensibilidad (SI-0.5%=1.37, SI-5%=0.83) y en el caso de los conejos las concentraciones del 0.5% no generaron edema o eritema cutáneo, pero al 5% se observó un eritema muy leve, por lo que se considera al extracto como un posible sensibilizador (SI-50%=33.33) en dosis altas e irritante moderado (PII=2.7) en destilados sin diluir (Craig, Karchesy, Blythe, González-Hernández & Swan, 2004). En otros bioensayos, el aceite de hojas de *J. occidentalis* sin toxicidad para *Daphnia magna* Straus, 1820 y *Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792; sin embargo, fue moderadamente fitotóxico para *Raphidocelis subcapitata* (Korshikov) Nygaard *et al.* (NOEC=0,63 mg/L), (Düringer, Swan, Walker & Craig, 2010). Por ello, las aplicaciones de los extractos no solo son de utilidad en la farmacología, sino también en los sectores perfumero, dulcero (Rangel *et al.*, 2018) y ganadero en lo que respecta a los forrajes (Dietz, Scott, Campbell, Owens, Taylor Jr. & Brantely, 2010; Stewart *et al.*, 2015). Es necesario realizar un análisis químico de todas las especies, poblaciones y variedades con el fin de aprovechar todos los recursos provenientes de estas plantas y buscar los disolventes y métodos de extracción adecuados para lograr una estandarización de los destilados (Damjanovic *et al.*, 2003).

## CONCLUSIONES

En esta revisión se identificaron 11 actividades biológicas de *Juniperus* de la Sección *Sabina* de Norteamérica, pero en importancia son el: antifúngico, antiinflamatorio, antibacterial, antioxidante, citotóxico y el insecticida.

Los estudios realizados en las especies de la Sección *Sabina* de Norteamérica son aún escasos, debido a que solo se encontró información en siete de las 22 registradas; sin embargo, cabe la posibilidad que al iniciar nuevas líneas de investigación se descubran propiedades de utilidad para la salud, la elaboración de fármacos y presencia en otras industrias.

Por lo expuesto consideramos una posibilidad de que en los futuros trabajos de investigación se incluyan de manera integral a los individuos de las diferentes especies, subpoblaciones y variedades con el fin de determinar las características fitoquímicas de la raíz, el tallo, las ramas, las hojas y las bayas de la planta incluidas las rutas metabólicas involucradas en la producción de los compuestos activos para establecer las dosis efectivas, en cada caso, a partir de modelos *in vivo*.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT), por la beca de doctorado a J. Rolando Rueda Torres. A la M. en C. Laura De León Pesqueira y al Dr. Jesús Manuel Martínez Calderas por sus valiosas aportaciones y observaciones.

## REFERENCIAS

- Acuña, U. M., Atha, D. E., Ma, J., Nee, M. H. & Kennelly, E. J. (2002). Antioxidant capacities of ten edible North American plants. *Phytotherapy Research*, **16**(1), 63-65. <https://doi.org/10.1002/ptr.1031>
- Adams, R. P. (2000). The serrate leaf margined *Juniperus* (Section *Sabina*) of the western hemisphere: systematics and evolution based on leaf essential oils and Random Amplified Polymorphic DNAs (RAPDs). *Biochemical Systematics and Ecology*, **28**(10), 975-989. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(00\)00022-3](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(00)00022-3)
- Adams, R. P. (2014). *Junipers of the world: the genus Juniperus*. Trafford Publishing. Fourth edition, Waco, Texas, USA.
- Adams, R. P. & Schwarzbach, A. E. (2013). Phylogeny of *Juniperus* using nrDNA and four cpDNA regions. *Phytologia*, **95**(2), 179-187.
- Akbulut, H. F. & Akbulut, M. (2023). Mineral composition, the profile of phenolic compounds, organic acids, sugar and *in vitro* antioxidant capacity, and antimicrobial activity of organic extracts of *Juniperus drupacea* fruits. *Food Science & Nutrition*, **11**(10), 6435-6446. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3586>
- Allenspach, M. & Steuer, C. (2021).  $\alpha$ -Pinene: A never-ending story. *Phytochemistry*, **190**, 112857. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2021.112857>
- Angioni, A., Barra, A., Russo, M. T., Coroneo, V., Dessì, S. & Cabras, P. (2003). Chemical composition of the essential oils of *Juniperus* from ripe and unripe berries and leaves and their antimicrobial activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**(10), 3073-3078. <https://doi.org/10.1021/jf026203j>

- Armstrong, S. A., Klein, D. R., Whitney, T. R., Scott, C. B., Muir, J. P., Lambert, B. D. & Craig, T. M. (2013). Effect of using redberry juniper (*Juniperus pinchotii*) to reduce *Haemonchus contortus* in vitro motility and increase ivermectin efficacy. *Veterinary Parasitology*, **197**(1-2), 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.04.021>
- Asili, J., Emami, S. A., Rahimizadeh, M., Fazly-Bazzaz, B. S. & Hassanzadeh, M. K. (2010). Chemical and antimicrobial studies of *Juniperus sabina* L. and *Juniperus foetidissima* Willd. essential oils. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, **13**(1), 25-36. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2010.10643787>
- Bakkour, Y., El-Achi, N., Tabcheh, M., El-Nakat, H. & El Omar, F. (2013). Chemical composition and antioxidant activities of the essential oils from green and ripe berries of *Juniperus excelsa* growing in Lebanon. *International Journal of Pharmacy & Life Sciences*, **4** (2), 2362-2367.
- Belov, T., Terenzhev, D., Bushmeleva, K. N., Davydova, L., Burkin, K., Fitsev, I., Gatiyatukina, A., Egorova, A. & Nikitin, E. (2023). Comparative analysis of chemical profile and biological activity of *Juniperus communis* L. Berry Extracts. *Plants*, **12**(19), 3401. <https://doi.org/10.3390/plants12193401>
- Butkienė, R., Budiene, J. & Judzientiene, A. (2015). Variation of secondary metabolites (essential oils) in various plant organs of *Juniperus communis* L. wild growing in Lithuania. *Baltic Forestry*, **21**(1), 40.
- Butkienė, R., Nivinskienė, O. & Mockutė, D. (2006). Differences in the essential oils of the leaves (needles), unripe and ripe berries of *Juniperus communis* L. growing wild in Vilnius district (Lithuania). *Journal of Essential Oil Research*, **18**(5), 489-494. <https://doi.org/10.1080/10412905.2006.9699150>
- Butkienė, R., Nivinskienė, O., Mockutė, D. & Miliūtė, A. (2007). Variety of the essential oils composition of wood, needles (leaves), unripe and ripe berries of *Juniperus communis* var. *communis* growing wild in Druskininkai district. *Chemija*, **18**(3), 35-40.
- Camacho-Escobar, M. A., Ramos-Ramos, D. A., Ávila-Serrano, N. Y., Sánchez-Bernal, E. I. & López-Garrido, S. J. (2020). Las defensas fisicoquímicas de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes. *Terra Latinoamericana*, **38**(2), 443-453. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.629>
- Camacho-Hernández, C., Lagunez-Rivera, L., Aguilar-Contreras, A. & Solano, R. (2022). Ethnobotany of medicinal flora in two communities of the Mixteca Alta in Oaxaca, Mexico. *Botanical Sciences*, **100**(4), 912-934. <https://doi.org/10.17129/botsci.2947>
- Cendales, D. R. M. & Suárez, L. E. C. (2016). Compuestos citotóxicos de origen vegetal y su relación con proteínas inhibidoras de apoptosis (IAP). *Revista Colombiana de Cancerología*, **20**(3), 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.rccan.2015.10.002>
- CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2014). La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, 152.
- Craig, A. M., Karchesy, J. J., Blythe, L. L., del Pilar González-Hernández, M. & Swan, L. R. (2004). Toxicity studies on western juniper oil (*Juniperus occidentalis*) and Port-Orford-cedar oil (*Chamaecyparis lawsoniana*) extracts utilizing local lymph node and acute dermal irritation assays. *Toxicology Letters*, **154**(3), 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2004.08.004>
- Damjanovic, B. M., Skala, D., Petrovic-Djakov, D. & Baras, J. (2003). A comparison between the oil, hexane extract and supercritical carbon dioxide extract of *Juniperus communis* L. *Journal of Essential Oil Research*, **15**(2), 90-92. <https://doi.org/10.1080/10412905.2003.9712076>
- Dietz, T. H., Scott, C. B., Campbell, E. J., Owens, C. J., Taylor Jr, C. A. & Brantely, R. (2010). Feeding redberry juniper (*Juniperus pinchotii*) at weaning increases juniper consumption by goats on pasture. *Rangeland Ecology & Management*, **63**(3), 366-372. <https://doi.org/10.2111/08-247.1>
- Dolan, M. C., Dietrich, G., Panella, N. A., Montenieri, J. A. & Karchesy, J. J. (2014). Biocidal activity of three wood essential oils against *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae), *Xenopsylla cheopis* (Siphonaptera: Pulicidae), and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of Economic Entomology*, **100**(2), 622-625. <https://doi.org/10.1093/jee/100.2.622>
- Doussot, J., Mathieu, V., Colas, C., Molinié, R., Corbin, C., Montguillon, J., Moreno, Y., Banuls, L., Renouard, S., Lamblin, F., Dupré, P., Maunit, B., Kiss, R., Hano, C. & Lainé, E. (2016). Investigation of the lignan content in extracts from *Linum*, *Callitris* and *Juniperus* species in relation to their *In Vitro* antiproliferative activities. *Planta Medica*, **83**(06), 574-581. DOI: 10.1055/s-0042-118650
- Duringer, J. M., Swan, L. R., Walker, D. B. & Craig, A. M. (2010). Acute aquatic toxicity of western juniper (*Juniperus occidentalis*) foliage and Port Orford cedar (*Chamaecyparis lawsoniana*) heartwood oils. *Environmental Monitoring and Assessment*, **170**, 585-598. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1259-0>
- Ennajar, M., Afloulous, S., Romdhane, M., Ibrahim, H., Cazaux, S., Abderraba, M., Raies, A. & Bouajila, J. (2011). Influence of the process, season, and origin on volatile composition and antioxidant activity of *Juniperus phoenicea* L. leaves essential oils. *Journal of Food Science*, **76**(2), C224-C230. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01995.x>
- Espitia, J. J. C., Lozano, L. C. & Suárez, D. M. T. (2022). Efecto bactericida del ácido acético presente en el vinagre, una alternativa a desinfectantes sintéticos o químicos. Revisión sistemática. *Revista Boletín Redipe*, **11**(1), 440-451. <https://doi.org/10.36260/rbr.v11i1.1653>
- Fagetti, A. (2011). *Fundamentos de la medicina tradicional*



- mexicana*. Saberes colectivos y diálogo de saberes en México. UNAM, Toluca, México, 137-151.
- Feng, X., Zhang, W., Wu, W., Bai, R., Kuang, S., Shi, B. & Li, D. (2021). Chemical composition and diversity of the essential oils of *Juniperus rigida* along the elevations in Helan and Changbai Mountains and correlation with the soil characteristics. *Industrial Crops and Products*, **159**, 113032. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113032>
- Freyre, S., Estrada, M. & Bolaños, H. (2009). Estudio preliminar de la citotoxicidad y la genotoxicidad de un extracto de origen vegetal conocido como palmo rosado en células meristemáticas de *Allium cepa*. *Memorias*, **5(12)**, 12-17.
- Gallegos-Hernández, G. F. (2018). Ensayos colorimétricos para la detección de citotoxicidad. *Vid supra*, **10(1)**, 1-55.
- Göktürk, D. & Alkış, M. D. Ö. (2023). Effects of *Juniperus drupacea* concurrent with etoposide on glioblastoma cell culture. *South African Journal of Botany*, **163**, 172-180. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.10.033>
- Gonçalves, A. C., Flores-Félix, J. D., Coutinho, P., Alves, G. & Silva, L. R. (2022). Zimbro (*Juniperus communis* L.) as a promising source of bioactive compounds and biomedical activities: A review on recent trends. *International Journal of Molecular Sciences*, **23(6)**, 3197. <https://doi.org/10.3390/ijms23063197>
- González-Torres, M. C., Betancourt-Rule, M. & Ortiz-Muñoz, R. (2000). Daño oxidativo y antioxidantes. *Bioquímica*, **25(1)**, 3-9.
- Gordien, A. Y., Gray, A. I., Franzblau, S. G. & Seidel, V. (2009). Antimycobacterial terpenoids from *Juniperus communis* L. (Cupressaceae). *Journal of Ethnopharmacology*, **126(3)**, 500-505. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.09.007>
- Gregori, V. B. S. (2005). Estructura y actividad de los antifúngicos. *Revista Cubana de Farmacia*, **39(2)**, 1.
- Huang, N. C., Huang, R. L., Huang, X. F., Chang, K. F., Lee, C. J., Hsiao, C. Y., Lee, S., C. & Tsai, N. M. (2021). Evaluation of anticancer effects of *Juniperus communis* extract on hepatocellular carcinoma cells *in vitro* and *in vivo*. *Bioscience Reports*, **41(7)**, BSR20211143. <https://doi.org/10.1042/BSR20211143>
- Ionkova, I. (2007). Biotechnological approaches for the production of lignans. *Pharmacognosy Reviews*, **1(1)**, 57-68.
- Ivanova, D. I., Korona-Główniak, I., Olech, M., Malm, A., Nowak, R., Baj, T., Tashev, A. & Angelov, G. (2023). Antimicrobial activity and chemical analyses of seven *Juniperus* L. species. *Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences*, **36(4)**, 236-241. <https://doi.org/10.2478/cipms-2023-0041>
- Ivanova, D. I., Nedialkov, P. T., Tashev, A. N., Olech, M., Nowak, R., Ilieva, Kokanova-Nedialkova, Z., Atanasova, T. N., Angelov, G. & Najdenski, H. M. (2021). Junipers of various origins as potential sources of the anticancer drug precursor podophyllotoxin. *Molecules*, **26(17)**, 5179. <https://doi.org/10.3390/molecules26175179>
- Johnston, W. H., Karchesy, J. J., Constantine, G. H. & Craig, A. M. (2001). Antimicrobial activity of some Pacific Northwest woods against anaerobic bacteria and yeast. *Phytotherapy Research*, **15(7)**, 586-588. <https://doi.org/10.1002/ptr.765>
- Kaufer, L. (2021). Medicinal Herbs of California: A Field Guide to Common Healing Plants. Rowman & Littlefield. Pp. 28-40.
- Khan, M., Karuppiah, P., Alkhathlan, H. Z., Kuniyil, M., Khan, M., Adil, S. F. & Shaik, M. R. (2022). Green synthesis of silver nanoparticles using *Juniperus procera* extract: their characterization, and biological activity. *Crystals*, **12(3)**, 420. <https://doi.org/10.3390/cryst12030420>
- Kilani, S., Abdelwahed, A. & Ben Ammar, R. (2008). Chemical composition of the essential oil of *Juniperus phoenicea* L. from Algeria. *Journal of Essential Oil Research*, **20**, 695-700. <https://doi.org/10.1080/10412905.2008.9699410>
- Kuang, S., Liu, L., Qing, M., Zhang, Y., Feng, X., Wang, D., Jiang, Y., Zhang X. & Li, D. (2019). Anatomical, phytochemical, and histochemical study of *Juniperus rigida* needles at different altitudes. *Microscopy and Microanalysis*, **25(5)**, 1213-1223. <https://doi.org/10.1017/S1431927619014818>
- Lafraxo, S., El Barnossi, A., El Moussaoui, A., Bourhia, M., Salamatullah, A. M., Alzahrani, A., Akka A. A., Choubbane, A., Akhazzane, M., Aboul-Soud, A. M., Giesy, J. P. & Bari, A. (2022). Essential oils from leaves of *Juniperus thurifera* L., exhibiting antioxidant, antifungal and antibacterial activities against antibiotic-resistant microbes. *Horticulturae*, **8(4)**, 321. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040321>
- Lipeh, S., Schimleck, L. R., Mankowski, M. E., McDonald, A. G. & Morrell, J. J. (2020). Relationship between attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy of western juniper and natural resistance to fungal and termite attack. *Holzforschung*, **74(3)**, 246-259. <https://doi.org/10.1515/hf-2019-0096>
- Liu, Z., Kuang, S., Qing, M., Wang, D. & Li, D. (2019). Metabolite profiles of essential oils and SSR molecular markers in *Juniperus rigida* Sieb. et Zucc. from different regions: a potential source of raw materials for the perfume and healthy products. *Industrial Crops and Products*, **133**, 424-434. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.034>
- Manter, D. K., Karchesy, J. J. & Kelsey, R. G. (2006). The sporicidal activity of yellow-cedar heartwood, essential oil and wood constituents towards *Phytophthora ramorum* in culture. *Forest Pathology*, **36(5)**, 297-308. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2006.00461.x>
- Manter, D. K., Kelsey, R. G. & Karchesy, J. J. (2007). Antimicrobial activity of extractable conifer heartwood compounds toward *Phytophthora ramorum*. *Journal of Chemical Ecology*, **33**, 2133-2147. <https://doi.org/10.1007/s10886-007-9368-0>
- Mao, K., Hao, G., Liu, J., Adams, R. P. & Milne, R. I. 2010. Diversification and biogeography of *Juniperus* (Cupressaceae): Variable diversification rates and multiple intercontinental dispersals. *New Phytologist*, **185**, 332-342.



- <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03351.x>
- Martz, F., Peltola, R., Fontanay, S., Duval, R. E., Julkunen-Tiitto, R. & Stark, S. (2009). Effect of latitude and altitude on the terpenoid and soluble phenolic composition of juniper (*Juniperus communis*) needles and evaluation of their antibacterial activity in the boreal zone. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **57**(20), 9575-9584. <https://doi.org/10.1021/jf902423k>
- Mazur, M. 2021. Differentiation of Mediterranean species of *Juniperus* from the *Sabina* section as a result of their migrations. *Plant and Fungal Systematics*, **66**(2), 141-154. <https://doi.org/10.35535/pfsyst-2021-0013>
- Miceli, N., Trovato, A., Marino, A., Bellinghieri, V., Melchini, A., Dugo, P., Cacciola, F., Donata, P., Mondello, L., Güvenç, A., De Pasquale, R. & Taviano, M. F. (2011). Phenolic composition and biological activities of *Juniperus drupacea* Labill. berries from Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, **49**(10), 2600-2608. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.07.004>
- Miyamoto, B. T., Konkler, M. J., Leavengood, S., Morrell, J. J. & Sinha, A. (2019). Durability assessment of western juniper from five different growing regions. *Wood and Fiber Science*, **51**(1), 88-95. <https://doi.org/10.22382/wfs-2019-009>
- Monribot-Villanueva, J. L., Rodríguez-Fuentes, J. S., Landa-Cansigno, C., Infante-Rodríguez, D. A., Díaz-Abad, J. P. & Guerrero-Analco, J. A. (2020). Comprehensive profiling and identification of bioactive components from methanolic leaves extract of *Juniperus deppeana* and its *in vitro* antidiabetic activity. *Canadian Journal of Chemistry*, **98**(12), 764-770. <https://doi.org/10.1139/cjc-2020-0177>
- Moreno, M. C., Belmont, R. M., Cruz, V. C., Martínez, G. M., García, G. S., Licona, R. G., Zilch, D. S., Luna, B. L., Torres, B. K., Moctezuma, F. H. E. & Carbajal, M. M. (2000). Propiedades antifúngicas en plantas superiores. Análisis retrospectivo de investigaciones. *Revista Mexicana de Fitopatología*, **18**(2), 125-131
- Muñoz J. A. M., Ramos-Escudero D. F., Alvarado-Ortiz U. C. & Castañeda C. B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, **73**(3), 142-149.
- Najar, B., Pistelli, L., Mancini, S. & Fratini, F. (2020). Chemical composition and *in vitro* antibacterial activity of essential oils from different species of *Juniperus* (section *Juniperus*). *Flavour and Fragrance Journal*, **35**(6), 623-638. <https://doi.org/10.1002/ffj.3602>
- Nieto, V., Pérez, E. B. E., Mendoza, P. E. & Maldonado, L. V. (2008). Citotoxicidad en células Hela de extractos de tres especies de plantas medicinales de Hidalgo, México. *Polibotánica*, **26**, 137-147.
- Olech, M., Nowak, R., Ivanova, D., Tashev, A., Boyadzhieva, S., Kalotova, G., Angelov, J. & Gawlik-Dziki, U. (2020). LC-ESI-MS/MS-MRM profiling of polyphenols and antioxidant activity evaluation of junipers of different origin. *Applied Sciences*, **10**(24), 8921. <https://doi.org/10.3390/app10248921>
- Pipíška, T., Cappellazzi, J., Leavengood, S., Kamke, F. A., Presley, G. & Děcký, D. (2021). Utilization of the Western Juniper (*Juniperus occidentalis*) in Strandboards to Improve the Decay Resistance. *BioResources*, **16**(2), 3886.
- Purkayastha, S., Narain, R. & Dahiya, P. (2012). Evaluation of antimicrobial and phytochemical screening of Fennel, Juniper and Kalonji essential oils against multi drug resistant clinical isolates. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, **2**(3), S1625-S1629. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60465-1](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60465-1)
- Radoukova, T., Zheljaskov, V. D., Semerdjieva, I., Dincheva, I., Stoyanova, A., Kačániová, M., Marković, T., Radanović, D., Astatkie, T. & Salamon, I. (2018). Differences in essential oil yield, composition, and bioactivity of three juniper species from Eastern Europe. *Industrial Crops and Products*, **124**, 643-652. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.012>
- Rangel, M. L., Guerrero-Analco, J. A., Monribot-Villanueva, J. L., Kiel-Martínez, A. L., Avendaño-Reyes, S., Abad, J. P. D., Bonilla-Landa, I., Dávalos-Sotelo, R., Olivares-Romero, J. L. & Angeles, G. (2018). Anatomical and chemical characteristics of leaves and branches of *Juniperus deppeana* var. *deppeana* (Cupressaceae): A potential source of raw materials for the perfume and sweet candies industries. *Industrial Crops and Products*, **113**, 50-54. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.046>
- Saavedra, O. M., Vázquez, E. N. J., Vargas, M. R. B. G. & Reyes, G. M. C. (2010). Radicales libres y su papel en las enfermedades crónico-degenerativas. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, **10**(2), 33-39
- Saeed, S. (2010). Herbal remedies for urinary tract infection. *International Journal of Biology and Biotechnology*, **7**(4), 347-52.
- Salih, A. M., Al-Qurainy, F., Nadeem, M., Tarroum, M., Khan, S., Shaikhaldein, H. O., Al-Hashimi, A., Alfagham, A. & Alkahtani, J. (2021). Optimization method for phenolic compounds extraction from medicinal plant (*Juniperus procera*) and phytochemicals screening. *Molecules*, **26**(24), 7454. <https://doi.org/10.3390/molecules26247454>
- Salih, A. M., Al-Qurainy, F., Tarroum, M., Khan, S., Nadeem, M., Shaikhaldein, H. O. & Alansi, S. (2022). Phytochemical compound profile and the estimation of the Ferruginol compound in different parts (roots, leaves, and seeds) of *Juniperus procera*. *Separations*, **9**(11), 352. <https://doi.org/10.3390/separations9110352>
- Samusenko, A. L. (2008). Comparative evaluation of antioxidant properties of spice-aromatic plant essential oils. In *Modern Tendencies in Organic and Bioorganic Chemistry: Today and Tomorrow*. (pp. 103-112) New York, Nova Science Publishers.
- Scouse, A., Kamke, F. A. & Morrell, J. J. (2015). Potential

- for using essential oils to protect viscoelastic thermal compression-treated hybrid poplar. *Forest Products Journal*, **65**(3-4), 93-99. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00078
- Seca, A. M. & Silva, A. M. (2006). The chemical composition of the *Juniperus* genus (1970–2004). *Recent Progress in Medicinal Plants*, **16**, 401-522.
- Sichamba, K., Morrell, J. J. & Leavengood, S. (2012). Potential for utilizing western juniper (*Juniperus occidentalis*) biomass for oil extraction and as a fermentation medium. *Forest Products Journal*, **62**(7-8), 538-540. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-12-00107.1>
- Stewart, W. C., Whitney, T. R., Scholljegerdes, E. J., Naumann, H. D., Cherry, N. M., Muir, J. P., Lambert, B. D., Walker, J. W., Adams, R. P., Welch, K. D., Gardner, D. R. & Estell, R. E. (2015). Effects of *Juniperus* species and stage of maturity on nutritional, *in vitro* digestibility, and plant secondary compound characteristics. *Journal of Animal Science*, **93**(8), 4034-4047. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9274>
- Tumen, I., Eller, F. J., Clausen, C. A. & Teel, J. A. (2012). Antifungal activity of heartwood extracts from three *Juniperus* species. *BioResources*, **8**(1), 12-20.
- Tumen, I., Süntar, I., Eller, F. J., Keleş, H. & Akkol, E. K. (2013). Topical wound-healing effects and phytochemical composition of heartwood essential oils of *Juniperus virginiana* L., *Juniperus occidentalis* Hook., and *Juniperus ashei* J. Buchholz. *Journal of Medicinal Food*, **16**(1), 48-55.
- Tunalier, Z., Kirimer, N. & Baser, K. H. C. (2002). The composition of essential oils from various parts of *Juniperus foetidissima*. *Chemistry of Natural Compounds*, **38**, 43-47. <https://doi.org/10.1023/A:1015725630556>
- Tunalier, Z., Kirimer, N. & Başer, K. H. C. (2003). Wood Essential Oils of *Juniperus foeticissima* Willd. *Holzforschung*, **57**, 140–144. <https://doi.org/10.1515/HF.2003.022>
- Uckele, K. A., Adams, R. P., Schwarzbach, A. E. & Parchman, T. L. (2021). Genome-wide RAD sequencing resolves the evolutionary history of serrate leaf *Juniperus* and reveals discordance with chloroplast phylogeny. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **156**, 107022. DOI: 10.1016/j.ympev.2020.107022
- Vieira, A. J., Beserra, F. P., Souza, M. C., Totti, B. M. & Rozza, A. L. (2018). Limonene: Aroma of innovation in health and disease. *Chemico-Biological Interactions*, **283**, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2018.02.007>
- Wang, J., Li, S. J., Freitag, C., Morrell, J. J. & Karchesy, J. J. (2012). Antifungal activities of four cedar foliage oils to wood stain or decay fungi. *Advanced Materials Research*, **365**, 375-381. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.365.375>
- Wen, Y., Zhang, S., Meng, X., Zhao, C., Hou, B., Zhu, X., Cai, W., Zhou, Y., Qiu, L. & Sun, H. (2024). Water extracts of Tibetan medicine Wuweiganlu attenuates experimental arthritis via inducing macrophage polarization towards the M2 type. *Journal of Ethnopharmacology*, **318**, 116934. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.116934>
- Whitney, T. R., Wildeus, S. & Zajac, A. M. (2013). The use of redberry juniper (*Juniperus pinchotii*) to reduce *Haemonchus contortus* fecal egg counts and increase ivermectin efficacy. *Veterinary Parasitology*, **197**(1-2), 82-188. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.06.010>
- Yang, Y., Ferguson, D. K., Liu, B., Mao, K. S., Gao, L. M., Zhang, S. Z., Wan, T., Rushforth, K. & Zhang, Z. X. (2022). Recent advances on phylogenomics of gymnosperms and a new classification. *Plant diversity*, **44**(4), 340-350. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.05.003>
- Zamora-Natera, F., García-López, P., Ruiz-López, M., Rodríguez-Macías, R. & Salcedo-Pérez, E. (2009). Composición y concentración de alcaloides en *Lupinus exaltatus* Zucc. durante su crecimiento y desarrollo. *Interciencia*, **34**(9), 672-676.
- Zhang, S., Hou, B., Xu, A., Wen, Y., Zhu, X., Cai, W., Han, Z., Chen, J., Nhamdriel, T., Mi, M., Qiu, L. & Sun, H. (2024). Ganlu formula ethyl acetate extract (GLEE) blocked the development of experimental arthritis by inhibiting NLRP3 activation and reducing M1 type macrophage polarization. *Journal of Ethnopharmacology*, **332**, 118377. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.118377>
- Zheljazkov, V. D., Astatkie, T. & Jeliaskova, E. (2013). Year-round variations in essential oil content and composition of male and female juniper. *HortScience*, **48**(7), 883-886. DOI: 10.21273/HORTSCI.48.7.883