



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**“CARACTERIZACIÓN Y ORDENACIÓN DEL MATORRAL DE
Juniperus angosturana R.P. ADAMS DEL VALLE DEL
MEZQUITAL, HIDALGO”**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta

SARAHÍ FLORES MARTÍNEZ

Bajo la supervisión del

DR. DIÓDORO GRANADOS SÁNCHEZ



Chapingo, Estado de México, agosto de 2025

CARACTERIZACIÓN Y ORDENACIÓN DEL MATORRAL DE *Juniperus angosturana* R.P. ADAMS DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO

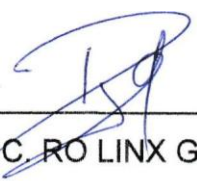
Tesis realizada por **SARAHÍ FLORES MARTÍNEZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:


M. C. DODORO GRANADOS SÁNCHEZ

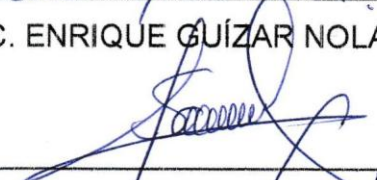
ASESOR:


M.C. RO LINX GRANADOS VICTORINO

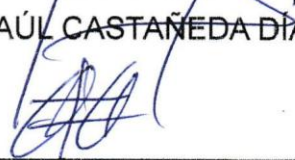
ASESOR:


M.C. ENRIQUE GUÍZAR NOLAZCO

ASESOR:


DR. SAÚL CASTAÑEDA DÍAZ

ASESOR:


DR. ALEJANDRO CORONAAMBRIZ

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
Lista de Tablas	v
Lista de Cuadros	v
Lista de Figuras	v
Lista de Apéndices	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	ix
RESUMEN GENERAL	x
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos particulares	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.6. Contenido capitular del documento de titulación.....	5
1.7. Literatura citada.....	7
CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1. Marco Teórico.....	12
2.1.1. Ecología de comunidades vegetales	12
2.1.2. Asociaciones vegetales	13
2.1.3. Clasificación de la vegetación de México	13
2.1.4. Caracterización de zonas áridas y semiáridas.....	15
2.1.5. Métodos de estudio de comunidades vegetales	16
2.1.6. Importancia de estudios sinicológicos en zonas áridas y semiáridas.....	20
2.1.7. Distribución e importancia de <i>Juniperus</i> L.	21
2.2. Marco de Referencia	23

2.2.1. Contexto ecológico del Valle del Mezquital.....	23
2.2.2. <i>Juniperus</i> en comunidades vegetales de ecosistemas áridos y semiáridos....	24
2.2.3. Contexto ecológico y estudios previos de <i>Juniperus angosturana</i> R.P. Adams	26
2.3. Literatura citada	28
CAPITULO III. ARTÍCULO CIENTÍFICO*	41
Caracterización y ordenación del matorral de <i>Juniperus angosturana</i> R.P. Adams del Valle del Mezquital, Hidalgo	41
Resumen.....	41
Introducción	43
Materiales y métodos	45
Resultados	49
CAPITULO IV. CONCLUSIONES GENERALES	71
APÉNDICES	72

Lista de Tablas

Tabla 1. Resultados de los primeros tres ejes de ordenación, de acuerdo con el análisis de Correspondencias Canónicas (ACC).	55
Tabla 2. Matriz de correlación entre las variables ambientales y edáficas de los sitios de muestreo en Cardonal, Hidalgo.....	57

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Clasificación de la vegetación en las localidades La Florida y San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo, basado en lo propuesto por González-Medrano (2004), para la vegetación de México.	49
--	----

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura y contenido del documento de titulación.	6
Figura 2. Esquema del método cuadrantes centrados en un punto. Las líneas punteadas ejemplifican la distancia del punto central al árbol más cercano en cada cuadrante.....	18
Figura 3. Fotografía tomada en el área de estudio, se logra observar a <i>Pinus cembroides</i> , <i>Juniperus flaccida</i> y <i>J. angosturana</i>	26
Figura 4. Fotografía tomada en el área de estudio a <i>Juniperus angosturana</i> con gálbulas presentes.	27
Figura 5. Ubicación de la zona de estudio y de los sitios de muestreo en las localidades La Florida y San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo (Carta Fisonómica-Estructural de la Vegetación de México, Portal de Información Geográfica-CONABIO, 2023).	47
Figura 6. Dendrograma de similitud estructural entre sitios con presencia de <i>Juniperus angosturana</i> en La Florida y San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo. A. Asociación <i>Juniperus angosturana</i> – <i>Juniperus flaccida</i> , B. Asociación <i>Juniperus angosturana</i> – <i>Pinus cembroides</i> , C. Asociación <i>Juniperus angosturana</i> – <i>Nolina parviflora</i> , D. Asociación <i>Juniperus angosturana</i> – <i>Neltuma laevigata</i>	50
Figura 7. Perfil fisonómico de las asociaciones vegetales donde se desarrolla <i>Juniperus angosturana</i> en las localidades La Florida y San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo. 1. <i>Acacia berlandieri</i> ; 2. <i>Agave salmiana</i> ; 3. <i>Berberis pallida</i> ; 4. <i>Cylindropuntia imbricata</i> ; 5. <i>Dasyllirion longissimum</i> ; 6. <i>Echinocactus platyacanthus</i> ; 7. <i>Juniperus angosturana</i> ; 8. <i>Juniperus flaccida</i> ; 9. <i>Malacomeles denticulata</i> ; 10. <i>Lysiloma sp.</i> ; 11. <i>Neltuma laevigata</i> ; 12. <i>Nolina parviflora</i> ; 13. <i>Opuntia sp.</i> ; 14. <i>Echinocactus platyacanthus</i> ; 15. <i>Pinus cembroides</i> ; 16. <i>Pinus pinceana</i> ; 17. <i>Rhus sp.</i> ; 18. <i>Yucca filifera</i>	54
Figura 8. Triplot del Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) de los ocho sitios muestreados en las localidades La Florida y San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo.	56

Lista de Apéndices

Apéndice 1. Variables calculadas a partir de los datos en campo con la ecuación que le corresponde.	72
Apéndice 2. Propiedades fisicoquímicas de suelos de los sitios de muestreo en las localidades La Florida y San Cristóbal, Cardonal, Hidalgo.	73
Apéndice 3. Diversidad de familias obtenidas a partir del listado florístico en los ocho sitios muestreados de las localidades La Florida y San Cristóbal, Cardonal, Hidalgo. .	73
Apéndice 4. Listado florístico de los tipos de vegetación con dominancia de <i>Juniperus angosturana</i> . Los números 1, 2, 3 y 7 corresponden a los sitios muestreados en la localidad La Florida y los números 4, 5, 6 8 a los sitios muestreados en la localidad San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo.	75

DEDICATORIA

A mi familia, por ser pilar fundamental en mi vida, quienes con su apoyo y cariño me alientan a ser mejor cada día.

A mi mamá, que todo el tiempo ha acompañado en el camino, me cuida y me da ánimos con su amor y compañía. A mi papá que siempre me alienta a ir por más, se alegra de mis logros, a ambos por sus sacrificios y amor que me han permitido llegar hasta aquí.

A mis hermanos que son mi mayor adoración en la vida y mi motor para seguir adelante, gracias por tanto amor.

A mis amigos, que siempre han estado, Den, Mich, Alex, Mar, Cas, Alan, Mizra y Carlitos. Gracias por creer en mi durante todos estos años, por su amistad incondicional, por su cariño y su compañía en los momentos más importantes, difíciles y alegres de mi vida. Gracias por la motivación y apoyo en esta etapa, por las risas, las charlas, las fiestas, los momentos de ocio y también de estudio y estrés compartido.

A todos aquellos que de alguna forma han compartido su conocimiento, ideas o consejos conmigo, ya sea con una charla casual o una conversación profunda y extensa. Gracias, porque cada una de esas palabras y experiencias ha sido pieza fundamental en quien soy y el camino que he recorrido.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por la beca con número 4008144, brindada durante mi estancia en la maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo por la oportunidad brindada y el apoyo a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado, con el proyecto 2101-C.

A los integrantes del Comité Asesor por su contribución y colaboración en la realización de esta investigación. Gracias a su orientación, enseñanzas, paciencia y apoyo para la culminación de este trabajo.

Al M. C. Ro Linx, al Dr. Enrique Guízar, al Dr. Diódoro, al técnico Rubén Herrera Flores, a Ruth y a Diego, por su acompañamiento, apoyo y disponibilidad al realizar los muestreos en campo. Al Dr. Saúl Castañeda Díaz, al Dr. Alejandro Corona Ambriz y al M.C. Joaquín Parra Álvarez, por su tiempo, atención y apoyo en la revisión y corrección del documento.

A la M.C. Ana Rosa López Ferrari por su apoyo en la determinación de ejemplares en el herbario UAMIZ de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

A los chicos de forestales, Carlos, Dalia, Dede, Joel, Dani, Beto, por acogerme en su grupo, brindarme su amistad y cariño.

A todas las personas con las que compartí esta etapa de mi vida, gracias por su apoyo y compañía. A mis compañeras de generación, compañeros y compañeras del posgrado en general por, la amistad, el cariño y apoyo, no sólo durante las clases sino también en el día a día.

DATOS BIOGRÁFICOS



Sarahí Flores Martínez nació el 23 de enero de 1999, en el municipio Nezahualcóyotl, Estado de México, vivió su infancia y juventud en el municipio de Chimalhuacán, estado de México. Desarrolló sus estudios de preparatoria en el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No 4 “Lázaro Cárdenas”; posteriormente realizó sus estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, en la licenciatura de Biología General generación 2017-2022, obteniendo el título de Bióloga en 2023 y su cédula profesional No. 13686894. En agosto de 2023 ingresó a la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo, donde desarrolló el presente trabajo de investigación enfocado en la caracterización y ordenación del matorral dominado por *Juniperus angosturana*.

A lo largo de su formación académica ha participado en proyectos relacionados con la relación epífita-forófito, ecología vegetal, importancia de los recursos no maderables y la restauración de ecosistemas. Ha participado como ponente en congresos nacionales e internacionales relacionados con la botánica, ecología, ciencias agronómicas y el manejo de recursos naturales, presentando resultados de sus investigaciones sobre vegetación y análisis comunidades vegetales. Sus principales áreas de interés incluyen la botánica, ecología de comunidades vegetales, restauración ecológica, recursos no maderables y silvicultura ecológica.

RESUMEN GENERAL *

“CARACTERIZACIÓN Y ORDENACIÓN DEL MATORRAL DE *Juniperus angosturana* R.P. ADAMS DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO”

Los matorrales son ecosistemas clave para la conservación de la biodiversidad, especialmente en regiones áridas y semiáridas. No obstante, algunas especies endémicas como *Juniperus angosturana* R. P. Adams, han sido escasamente estudiadas desde una perspectiva ecológica. El Valle del Mezquital constituye el límite sur de la distribución de esta especie y se caracteriza por una intensa presión antrópica, por la expansión agrícola y el sobrepastoreo. En este contexto, resulta prioritario realizar un análisis florístico y estructural de las comunidades vegetales dominadas por *J. angosturana*, con el fin de comprender los factores medioambientales y edáficos que influyen en su composición y dinámica. El presente estudio se llevó a cabo en el municipio de Cardonal, Hidalgo, en zonas con presencia de *J. angosturana*, en donde se describió la estructura de la vegetación mediante el método de cuadrantes centrados en un punto, con el cual se calcularon la abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia relativa de las especies arbustivas y arbóreas. La delimitación de las asociaciones vegetales se realizó mediante un análisis de agrupamiento. Así mismo, se aplicó un Análisis de Correspondencias Canónicas para evaluar la influencia de variables ambientales y edáficas sobre la estructura y composición florística. Se registraron especies vegetales pertenecientes a 79 géneros y 41 familias e identificaron cuatro tipos de vegetación y cuatro asociaciones dominadas por *J. angosturana*: Asociación *Juniperus angosturana* – *Juniperus flaccida*, Asociación *Juniperus angosturana* – *Pinus cembroides*, Asociación *Juniperus angosturana* – *Nolina parviflora*, y Asociación *Juniperus angosturana* – *Neltuma laeviagata*, cuya diferenciación estructural mostró una fuerte correlación con las características del suelo, particularmente con la textura, las concentraciones de calcio, potasio y fósforo, así como el pH. Este estudio contribuye al conocimiento ecológico de *J. angosturana* y constituye una base para la conservación y manejo de la especie en estos ecosistemas. **Palabras clave:** asociaciones vegetales, zonas áridas, vegetación, enebro, análisis estructural.

*Tesis de posgrado en Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Sarahí Flores Martínez.

Director de tesis: Dr. Diódoro Granados Sánchez.

GENERAL ABSTRACT*

“CHARACTERIZATION AND STRUCTURE OF THE *Juniperus angosturana* R.P. ADAMS SCRUBLAND IN THE VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO”

Scrublands are key ecosystems for the conservation biodiversity, particularly in arid and semi-arid regions. However, some endemic species, such as *Juniperus angosturana* R. P. Adams, have been scarcely studied from an ecological perspective). The Valle del Mezquital marks the southern limit of this species' distribution and is subject to intense human pressure resulting from agricultural expansion and overgrazing. In this context, conducting a floristic and structural analysis of plant communities dominated by *J. angosturana*, is a priority, as it provides insights into the environmental and edaphic factors that shape their composition and dynamics. This study was conducted in the municipality of Cardonal, Hidalgo, in areas with the presence of *J. angosturana*, where the vegetation structure was described using the point-centered quarter method, through which the abundance, dominance, frequency, and importance value index of shrub and tree species were calculated. Plant associations were delimited using cluster analysis and Canonical Correspondence Analysis was applied to assess the influence of environmental and soil variables on vegetation structure and floristic composition. A total of 79 genera and 41 families of plant species were recorded, and four vegetation types along with four associations dominated by *J. angosturana* were identified: *Juniperus angosturana* – *Juniperus flaccida* Association, *Juniperus angosturana* – *Pinus cembroides* Association, *Juniperus angosturana* – *Nolina parviflora* Association, and *Juniperus angosturana* – *Neltuma laeviagata* Association. Their structural differentiation exhibited a strong correlation with soil characteristics, particularly soil texture, calcium, potassium, and phosphorus concentrations, as well as pH. This study contributes to the ecological knowledge of *J. angosturana* conservation and management within these ecosystems.

Keywords: plant associations, arid zones, vegetation, juniper, structural analysis.

* Postgraduate thesis in Master of Science in Forest Sciences, Chapingo Autonomous University.
Author: Sarahí Flores Martínez.
Advisor: Dr. Dióodoro Granados Sánchez.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Antecedentes

En México, la vegetación asociada a climas áridos y semiáridos es diversa desde el punto de vista fisonómico, Miranda y Hernández-X. (1963), clasifican a las asociaciones vegetales de las zonas áridas de México, con base en la relación que existe entre los rasgos climáticos y las formas de vida. Mientras que Rzedowski (2006), agrupo todas las comunidades de porte arbustivo, de zonas áridas y semiáridas bajo el rubro de matorral xerófilo.

La vegetación asociada a climas áridos y semiáridos cubre más de la mitad del territorio mexicano (Pérez-Aguilar et al., 2021). En estas regiones, se encuentra una alta diversidad de matorrales con una composición y estructura variables, los cuales constituyen ecosistemas claves para la conservación de la biodiversidad; entre ellos, destacan las formas de vida arbustivas, por su dominancia, biomasa y su efecto sobre el ambiente y otras especies (González-Medrano, 2012; Rzedowski, 2006).

Las especies del género *Juniperus* L. forman matorrales o bosques bajos escuamifolios, siendo dominantes en estas comunidades vegetales características de zonas frías de alta montaña, a templadas y semihúmedas, aunque particularmente se desarrollan bien en suelos calcáreos, poco profundos y pedregosos (Rodríguez-Trejo y Vázquez-Soto, 2021; Vicente y Galán, 2018). Esta evidencia es de suma importancia ya que puede interpretar su notable adaptabilidad y resistencia a las condiciones climáticas adversas y una alta degradación del suelo.

Las especies de este género desempeñan un papel ecológico significativo, ya que destacan en la formación, protección y retención del suelo (Allegrezza et al., 2016; Romo et al., 2012), la facilitación de la germinación de otras plantas al formar sitios seguros de germinación o “islas de recursos” (Miwa y Reuter, 2010; Villanueva-Díaz et al., 2016). Contribuir a la conservación de la biodiversidad al funcionar como refugio o alimento para la fauna local como aves, mamíferos pequeños, insectos y reptiles, debido a que sus gálbulas de las que se alimentan principalmente aves y mamíferos, y en ocasiones sus hojas son aprovechadas

por el ganado (Campbell, 2015; Fonseca, 2006). En el ámbito económico y cultural son de uso maderable en la industria mueblera, de construcción y artesanal, también son de uso en industrias como la cosmetiquera, farmacéutica y en especial en la extracción de aceites esenciales utilizados en la elaboración perfumes y colonias en el mundo (Borja de la Rosa et al., 2010).

Para la comprensión de la vegetación xerófila de México, González-Medrano (2012) identifica cinco regiones, entre las cuales se encuentra la zona semiárida hidalguense. En esta región se encuentra el Valle del Mezquital constituido por los valles de Actopan, Ixmiquilpan y Zimapán. Dicha región semiárida ha experimentado un cambio notable del paisaje natural, debido a la introducción de un sistema de riego para la agricultura intensiva (Hernández-González et al., 2018). Este cambio en el uso de suelo, principalmente implica la disminución de la vegetación forestal, a causa de actividades antropogénicas, como el sobrepastoreo, la labranza postcosecha y el mal manejo del suelo agrícola. La presencia de *Juniperus angosturana* R.P. Adams en el Valle del Mezquital representa el límite meridional de su distribución en México, dominando algunas comunidades vegetales de este territorio.

Juniperus angosturana es una especie endémica de México que se distingue principalmente por sus gálbulas azul oscuro o claro, de un centímetro de diámetro o menores, con una semilla por cono (Estrada-Castillón et al., 2014). Son de hábito de crecimiento arbustivo de dos a siete metros de alto, presentes en sitios de clima templado semiseco, especialmente en áreas que han sufrido disturbio como la tala de árboles, en pastizales, matorrales y bosques abiertos, estableciéndose en un rango altitudinal que va de los 1300 a los 2000 m. s. n. m., su distribución abarca desde el este de Coahuila, sur de Nuevo León, sureste de Tamaulipas, noreste de Querétaro y norte de Hidalgo. Y frecuente en las partes bajas del Altiplano Mexicano formando asociaciones vegetales con *Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides*, especialmente en áreas que han sufrido disturbio (Estrada-Castillón et al., 2014).

En este contexto, la caracterización y ordenación de las comunidades en las que domina *J. angosturana*, en la región del Valle del Mezquital, constituye una

necesidad para analizar los factores que determinan su establecimiento, distribución o composición florística asociada. Lo cual permitirá desarrollar estrategias adecuadas de manejo, conservación y aprovechamiento, tanto de la especie como de los ecosistemas en los que se encuentra.

1.2. Planteamiento del problema

A nivel mundial, la degradación de suelo representa una de las principales amenazas para la vegetación, pues además de involucrar la pérdida de cobertura vegetal, provoca la disrupción de ecosistemas naturales en fragmentos de diversos tamaños, provocando la discontinuidad y aislamiento de su biodiversidad (Arriaga, 2009).

En las regiones áridas y semiáridas de México, la vegetación conforma una flora rica y distintiva caracterizada por sus formas de crecimiento especializadas, lo cual las hace vulnerables a los disturbios de degradación de suelos, debido a que son suelos sensibles a la pérdida de fertilidad, lo que altera a las comunidades vegetales, la supervivencia de especies endémicas y resiliencia de los ecosistemas (Arriaga Cabrera, 2009; Montaña-Arias, 2006). Sumado a esto, los matorrales constituyen uno de los tipos de vegetación mayormente afectados por las actividades humanas, teniendo como principales causas de la degradación de suelos el sobrepastoreo, cambio de uso de suelo, deforestación, la labranza postcosecha y el mal manejo del suelo agrícola (Hernández-González et al. 2018).

El Valle del Mezquital, ubicado en la región semiárida del estado de Hidalgo, cuenta con una vegetación que destaca por su riqueza florística y el número de endemismos que alberga, formando uno de los componentes más importantes del desierto queretano-hidalguense (Montaña-Arias, 2006). A pesar de esto, también es una región en la que la cubierta vegetal original ha sido reducida por una extensa red de parcelas agrícolas alternadas con asentamientos humanos, que han afectado la productividad de la tierra debido a problemas de compactación, salinización y contaminación (Hernández-González et al. 2018).

Aunque el género *Juniperus* es de relevancia, algunas especies como *J. angosturana* han sido objeto de pocos estudios. Hasta el momento los estudios

que existen abordan temas como la filogenia de la especie (Adams, 1994; Adams et al., 2006; Adams et al 2007; Adams y Schwarzbach, 2013; Uckele et al., 2021), descripciones morfológicas, datos de distribución (Estrada-Castillón et al., 2014; Farjon, 2005; Farjon, 2019; González-Elizondo et al., 2012), trabajos en los que se menciona la presencia de la especie como parte de comunidades vegetales en el noreste de México con otras especies de los géneros *Juniperus* L. y *Pinus* L. (Cartereau et al., 2023; Estrada-Castillón et al., 2015; Salinas-Rodríguez, 2013), algunos otros en los que se utilizan los datos de distribución de la especie para modelos de distribución potencial o modelados de paleobiología (Castro-López, 2020; Cartereau, 2023; Morales-Garduño et al., 2021; Trájer, 2023) y uno más en el que se utilizó la especie como hospedero en un bioensayo de hongos fitopatógenos de muérdago (Paz-Ponce et al., 2017).

Por lo que el presente estudio, se centra en conocer las condiciones del hábitat en que se desarrolla la especie, las interacciones que mantiene con otras especies vegetales, y su importancia como especie endémica y arbustiva dentro de los matorrales del Valle del Mezquital. Y con ello, resaltar la necesidad de replicar estudios similares en otras regiones del país.

1.3. Justificación

Ante los efectos cada vez más evidentes del cambio climático y considerando que las zonas áridas y semiáridas son especialmente sensibles a disturbios antropogénicos (González Medrano, 2012), resulta prioritario estudiar las características estructurales de las comunidades y asociaciones vegetales en las que se desarrolla *J. angosturana*. Comprender la organización ecológica de estas comunidades es esencial para evitar su degradación progresiva y recuperar zonas perturbadas. Además, cabe destacar que se trata de una especie con el estatus de especie vulnerable en la Lista Roja de Especies Amenazadas y de acuerdo con la UICN (2024) se estima que su área de distribución es de aproximadamente 1000 km². Sin embargo, la especie no es considerada dentro de Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Por ello, la caracterización y ordenación de los matorrales dominados por *J. angosturana* busca generar conocimiento que contribuya a fundamentar propuestas de conservación y manejo sustentable de los matorrales donde esta especie actúa como elemento estructural dominante.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar estructuralmente las comunidades vegetales dominadas por *Juniperus angosturana* R. P. Adams, en el Valle del Mezquital, Hidalgo, y ordenarlas en base a factores medioambientales con el propósito de contribuir al conocimiento sobre la especie y promover su conservación.

1.4.2. Objetivos particulares

1. Identificar los sitios de distribución de *J. angosturana* en el Valle del Mezquital, Hidalgo.
2. Contribuir al conocimiento de la composición florística de los matorrales de *J. angosturana*, realizando un listado florístico de la zona.
3. Caracterizar estructuralmente las comunidades vegetales donde se desarrolla *J. angosturana*, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.
4. Determinar las principales asociaciones vegetales de *J. angosturana*, mediante la clasificación de la vegetación.
5. Ordenar las comunidades vegetales de *J. angosturana*, con base en propiedades ambientales y físico-químicas del suelo.

1.5. Hipótesis

El matorral de *Juniperus angosturana* R. P. Adams, en el Valle del Mezquital Hidalgo, está influenciado por factores ambientales y edáficos que determinan las diferencias estructurales y florísticas de las asociaciones vegetales, formando comunidades vegetales diversas fisionómica y florísticamente pueden propiciar la ampliación de su distribución.

1.6. Contenido capitular del documento de titulación

El presente documento se compone de cuatro capítulos para su entendimiento.

El Capítulo I presenta la introducción general, donde se describen los antecedentes, planteamiento del problema y justificación, así como los objetivos e hipótesis planteada para el tema de investigación desarrollado.

El Capítulo II se compone de la revisión de literatura con el fin de fundamentar teóricamente la investigación. Este capítulo fue segmentado en marco teórico y marco de referencia, en el que se analizan temas de ecología vegetal, comunidades vegetales, asociaciones vegetales, tipos de vegetación, vegetación de zonas áridas y semiáridas, metodologías utilizadas para el estudio de la vegetación. Asimismo, se analizan investigaciones anteriores de la vegetación del área de estudio, la especie *Juniperus angosturana*, y la clasificación y ordenación de vegetación.

El Capítulo III corresponde a la metodología y resultados de la investigación en formato de artículo científico.

Por último, el Capítulo IV sintetiza las conclusiones generales de la investigación y plantea recomendaciones de estudios futuros respecto al tema.



Figura 1. Estructura y contenido del documento de titulación.

1.7. Literatura citada

- Adams, R. P. (1994). Geographic variation and systematics of monospermous *Juniperus* (Cupressaceae) from the Chihuahua Desert based on RAPD's and terpenes. *Biochemical Systematics and Ecology*, 22(7), 699-710.
<http://www.juniperus.org/uploads/2/2/6/3/22639912/124-1994bse22699.pdf>
- Adams, R. P. y Nguyen, S., Morris, J. y Schwarzbach, A. (2006). Re-examination of the taxonomy of the one-seeded, serrate leaf *Juniperus* of southwestern United States and northern Mexico (Cupressaceae). *Phytologia*, 88.
https://www.researchgate.net/publication/237700612_Re-examination_of_the_taxonomy_of_the_one-seeded_serrate_leaf_Juniperus_of_southwestern_United_States_and_northern_Mexico_Cupressaceae/citations
- Adams, R. P., Beauchamp, P. S., Dev, V. y Dutz, S. M. (2007). New Natural Products Isolated from One-Seeded *Juniperus* of the Southwestern United States: Isolation and Occurrence of 2-Ethenyl-3-Methyl Phenol and Its Derivatives. *Journal of Essential Oil Research*, 19(2), 146–152.
<https://doi.org/10.1080/10412905.2007.9699247>
- Adams, R. P. y Schwarzbach, A. E. (2013). Taxonomy of the serrate leaf *Juniperus* of North America: Phylogenetic analyses using nrDNA and four cpDNA regions. *Phytologia*, 95(2), 172-178.
<http://www.juniperus.org/uploads/2/2/6/3/22639912/303.pdf>
- Allegrezza, M., Corti, G., Cocco, S., Pesaresi, S., Chirico, G. B., Saracino, A. y Bonanomi, G. (2016). Microclimate buffering and fertility island formation during *Juniperus communis* ontogenesis modulate competition-facilitation balance. *Journal of Vegetation Science*, 27(3), 616-627.
<https://doi.org/10.1111/jvs.12386>
- Arriaga Cabrera, L. B. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigación ambiental*, 1(1), 6-16.

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/INVE%20AMB%20A77%202009.pdf>

- Borja de la Rosa, A., Machuca, R., Fuentes Salinas, M., Ayerde Lozada, D., Fuentes López, M. y Quintero Alcantar, A. (2010). Caracterización tecnológica de la madera de *Juniperus flaccida* var. *poblana* Martínez. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 16(2), 261-280. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.083>
- Campbell, T. P. (2015). Tree Islands of Fertility Structure Bacterial Community Assembly and Functional Genes Contributing to Ecosystem Processes. [Theses and Dissertations Brigham Young University]. <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/5241>
- Cartereau, M., Leriche, A., Médail, F. y Baumel, A. (2023). Tree biodiversity of warm drylands is likely to decline in a drier world. *Global Change Biology*, 29, 3707–3722. <https://doi.org/10.1111/gcb.16722>
- Castro-López, L. A. (2020). Distribución potencial de los géneros *Picea* y *Juniperus* en México durante el último máximo glacial. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa]. <https://core.ac.uk/download/pdf/588356195.pdf>
- Estrada-Castillón, E., Arévalo, J. R., Villareal-Quintanilla, J. Á., Salinas-Rodríguez, M. M., Cantú-Ayala, C. M., González-Rodríguez, H., Jiménez-Pérez, J. (2014). *Coníferas de Nuevo León, México*. https://www.researchgate.net/publication/275276634_Coniferas_de_Nuevo_Leon_Mexico
- Estrada-Castillón, E., Arévalo, J. R., Villareal-Quintanilla, J. Á., Salinas-Rodríguez, M. M., Encina-Domínguez, J. A., González-Rodríguez, H., Cantú-Ayala, C. M. (2015). Classification and ordination of main plant communities along an altitudinal gradient in the arid and temperate climates of northeastern Mexico. *The Science of Nature*, 102, 9–10. <https://doi.org/10.1007/s00114-015-1306-3>
- Farjon, A. (2005). A monograph of Cupressaceae and Sciadopitys. Royal Botanic Gardens, Kew Press, London.

- Farjon, A. (2019), *Juniperus angosturana*, from the website: 'Threatened Conifers of The World' <https://threatenedconifers.rbge.org.uk/conifers/juniperus-angosturana>
- Fonseca, R. M. (2006). *Juniperus*, la ginebra, el incienso, los lápices y los repelentes. *Ciencias*, 81, 44-47. <https://www.revistacienciasunam.com/en/54-revistas/revista-ciencias-81/346-juniperus.html>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L. y López-Enríquez, I. L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta botánica mexicana*, 100, 351-403. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512012000300012&lng=es&tlng=es
- González-Medrano, F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recurso Naturales (INE-SEMARNAT). México. http://140.84.163.2:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/218/668_2012_Zonas_aridas_semiaridas_Mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández-González, D. E., Muñoz-Iniestra, D. J., López-Galindo, F., y Hernández-Moreno, M. M. (2018). Impacto del uso de la tierra en la calidad del suelo en una zona semiárida del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *BIOCYT Biología Ciencia Y Tecnología*, 11, 41-42. <https://doi.org/10.22201/fesi.20072082.2018.11.65833>
- IUCN 2024. The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2023-1. <https://www.iucnredlist.org>
- Miranda, F. y Hernández-X., E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28, 29-179. https://www.researchgate.net/publication/306160721_Los_tipos_de_vegetation_de_Mexico_y_su_clasification
- Miwa, C. T., y Reuter, R. J. (2010). Persistence of western juniper (*Juniperus occidentalis*) resource islands following canopy removal. *Northwest Science*, 84(4), 361-368. <https://doi.org/10.3955/046.084.0405>

- Montaño-Arias, N. M., García-Sánchez, R., Ochoa-de la Rosa, G., Monroy-Ata, A. (2006). Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 193-205. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311108006>
- Morales-Garduño, L., Solano, E., Villaseñor, J. L., Montaño-Arias, G. (2021). Panbiogeografía de los matorrales de la Región Xerofítica Mexicana. *Botanical Sciences*, 99(3): 611-627. <https://doi.org/10.17129/botsci.2773>
- Paz-Ponce, M., Melchor-López, A., Rodríguez-Pagaza, Y., Sánchez-Peña, S. R., Flores-Olivas, A., Villarreal-Quintanilla, J.A., Catú-Sifuentes, M. (2017, 3 al 6 de octubre). Pruebas de selectividad de hongos fitopatógenos de *Phoradendron* spp. como potenciales controles biológicos del muérdago. [Sesión de conferencia]. 2017. XXXVIII Congreso mexicano de la Ciencia de la maleza (SOMECIMA, A.C.), Torreón, Coahuila, México. <https://somecima.com/wp-content/uploads/2018/07/2017.pdf#page=38>
- Pérez-Aguilar, L.Y., Plata-Rocha, W., Monjardín-Armenta, S.A., Franco-Ochoa, C. y Zambrano-Medina, Y.G. (2021). The Identification and Classification of Arid Zones through Multicriteria Evaluation and Geographic Information Systems - Case Study: Arid Regions of Northwest Mexico. *ISPRS Int. J. Geo Inf.*, 10, 720. <https://doi.org/10.3390/ijgi10110720>
- Rodríguez-Trejo, D. y Vázquez-Soto, E. (2021). *Juniperus* L. (Cupressaceae). https://www.researchgate.net/publication/351263142_Juniperus_L_Cupressaceae
- Romo, Á., Salvá Catarineu, M., Ouhammou, A., Boratyński, A. (2012). Las formaciones de Sabina albar (*Juniperus thurifera* subsp. *africana*) en los macizos de Toubkal y Azourki del Gran Atlas (Marruecos). Las zonas de montaña: gestión y biodiversidad. VII congreso español de biogeografía. *Pirineo*, 379-383. https://digital.csic.es/bitstream/10261/64701/1/formaciones_sabina_albar.pdf

- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México (1ra ed. digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/vegetaciondeMexico>
- Salinas-Rodríguez, M. M., Estrada-Castillón, E., y Villarreal-Quintanilla, J. Á. (2013). Flora and Phytogeography of the Cañón de Iturbide, Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 7(2), 803–819. <http://www.jstor.org/stable/24621165>
- Trájer, A. J. (2023). Clarification of the Lopingian palaeoclimatic conditions of the northwestern coastal regions of Palaeotethys based on the Transdanubian geological record. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.104917>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.107022>
- Vicente Orellana, J. A. y Galán de Mera, A. (2018). Las comunidades vegetales con *Juniperus* L. en Extremadura. Conocimiento y estado de conservación. <https://www.researchgate.net/publication/338548473>
- Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Gómez-Guerrero, A., Cerano-Paredes, J., Aguirre-González, N. A., y Franco-Ramos, O. (2016). Potencial dendrocronológico de *Juniperus monticola* Martínez en el monte Tláloc, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(2), 175-185. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000200175&lng=es&tlng=es

CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Ecología de comunidades vegetales

Una comunidad es el conjunto de las poblaciones de distintas especies que habitan en un determinado lugar. En este sentido, el término **comunidad vegetal** se refiere al conjunto de especies vegetales que crecen en una localidad determinada y presentan una afinidad definida entre sí (González-Medrano, 2004; Sánchez y Pontes, 2010).

Aunque, el concepto de comunidad vegetal ha sido ampliamente debatido, dos de los primeros ecólogos vegetales en expresar su punto de vista al respecto fueron Clements F. E. y Gleason, H. A. Clements propuso el concepto organísmico, en el que las especies que conforman la vegetación están unidas como los órganos y partes del cuerpo de un animal, las cuales alcanzan su punto culminante en el clímax o estadio de vegetación madura. Por su parte, Gleason consideraba a las especies vegetales distribuidas como un continuum, es decir, que las poblaciones vegetales responden individualmente a los factores ambientales a lo largo de un gradiente espacial y temporal (Atilio de la Orden, 2020).

La rama de la ecología de la vegetación que se ha centrado en el estudio de las relaciones entre las comunidades o sinecias y los factores ambientales se denomina **sinecología** o **fitosociología** (Atilio de la Orden, 2020; González-Medrano, 2004). Esta disciplina tiene como finalidad describir y analizar la estructura de las comunidades vegetales, con el fin de comprender las relaciones funcionales que existen entre los componentes de la comunidad en un espacio y tiempo determinados (Granados-Sánchez y Tapia-Vargas, 1990).

La distribución, composición y estructura de las comunidades vegetales depende de las relaciones existentes entre características fisiográficas y climáticas de la región, así como de las características intrínsecas de las especies vegetales que las conforman (Sosa et al., 2006). Comprender los elementos que conforman las comunidades ha sido fundamental para el análisis ecológico de la vegetación y con ello agrupar a las grandes unidades de vegetación cuya expresión y

distribución están determinadas mayormente por el factor clima (Rzedowski, 2006).

2.1.2. Asociaciones vegetales

De acuerdo González-Medrano (2004), los niveles de integración para la clasificación de las comunidades vegetales de México son: **bioma**, **series de formaciones**, **formación o tipo de vegetación** y de acuerdo a la composición florística **asociaciones** (dos o más especies dominantes) y **consociaciones** (una especie dominante) (Atilio de la Orden, 2020). Siendo la **asociación** la unidad básica y más detallada dentro de la clasificación de comunidades vegetales (Chen et al., 2022).

En ecología de comunidades, las investigaciones se han centrado en medir los niveles de asociación entre especies (Sosa et al., 2006), ya que el estudio de las asociaciones es fundamental para la restauración ecológica y la protección de hábitats. A su vez, los niveles de asociación resultan clave para la restauración ecológica, la protección ecológica regional, la regulación del equilibrio ecológico y el mantenimiento de la biodiversidad (Chen et al., 2022).

Asimismo, el análisis de la asociación entre especies vegetales permite evaluar la estructura de la comunidad vegetal, la diversidad, riqueza y abundancia de especies, los patrones de distribución, los cambios en la comunidad vegetal y la predicción futura de la diversidad y distribución ante el cambio climático (Mousaei y Rundel, 2020).

2.1.3. Clasificación de la vegetación de México

La posición latitudinal de México, su compleja historia geológica, el relieve heterogéneo, la presencia de grandes cadenas montañosas y su ubicación entre dos océanos, ha contribuido en gran parte a que sea considerado un país megadiverso en el que están representados prácticamente todos los biomas que se han descrito en el mundo (Rzedowski, 2006; Trejo et al., 2000).

La gran diversidad climática y topográfica de nuestro territorio se ve reflejada en la variedad de la flora mexicana. En este sentido, se vuelve necesario tener una clasificación y nomenclatura adecuadas para las comunidades vegetales que permita mostrar similitudes y diferencias entre la composición florística y la

estructura de las comunidades, y con ello comprender su complejidad y dinámica sucesional (Miranda y Hernández-X., 1963; González-Medrano, 2004).

La vegetación de México ha sido objeto de múltiples estudios en los se ha destacado su gran diversidad, las transformaciones ecológicas resultado de procesos naturales y de actividad humana, así como propuestas para una clasificación de la vegetación de México (Rzedowski, 2006). En México, una de las primeras clasificaciones para la vegetación fue realizada por Leopold en 1950, quien, a pesar de ser zoólogo, diseñó una clasificación fisonómica en la que, a partir de estudios faunísticos distinguió doce formaciones vegetales para el país (Barrera, 2016).

Posteriormente, en 1963, Miranda y Hernández-X., definieron los tipos de vegetación fundamentalmente por su fisionomía, derivando a su vez la forma de vida de las especies dominantes y en consecuencia de los factores del medio, ya sean climáticos, edáficos o bióticos, reconociendo 32 tipos de vegetación. En palabras de Gómez-Pompa (1965), *“esta clasificación es la mejor y la más completa existente hasta ese momento para la vegetación de México”*. Esto llevó a Gómez-Pompa a realizar una síntesis de los trabajos efectuados para la vegetación en México, publicando en 1965 *La Vegetación de México* en el *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, en el cual ejemplificó algunos tipos de vegetación dividiéndola en tres zonas: vegetación en zonas con clima templado o frío; vegetación en zonas con clima árido o subárido; y vegetación en zonas con clima cálido.

En 1978 Jerzy Rzedowski publica su libro *Vegetación de México*, en el que detalla la información hasta ese momento del tema, estructurada en un esquema que reconoce diez tipos de vegetación (Meave et al., 2016). Y una de las propuestas más recientes y considerada como una de las más completas, es la propuesta de clasificación de González-Medrano (2004), publicada en su libro *Las comunidades vegetales de México*, basado en características fisonómicas y ecológicas de las comunidades vegetales, en la que resalta las diferencias entre vegetación zonal y azonal y en menor medida considera la composición florística

para distinguir entre comunidades de estructura similar, distinguiendo así las asociaciones vegetales.

2.1.4. Caracterización de zonas áridas y semiáridas

Los ecosistemas de zonas áridas y semiáridas se caracterizan por contener comunidades vegetales abiertas donde típicamente abundan plantas arbustivas frecuentemente espinosas de hojas diminutas, con las que se entremezclan plantas suculentas, herbáceas y gramíneas (Aranda-Pineda et al., 2025; Meave et al., 2016). La flora está constituida por más de seis mil especies, con una proporción estimada del 60% de endemismos (Briones et al., 2020). Esta vasta diversidad de formas vegetales refleja la variedad de respuestas evolutivas de las plantas a las condiciones extremas de aridez (Meave et al., 2016). Además, de contribuir a la gran variedad de tipos de vegetación reconocidos en estas áreas, pues los nombres de las agrupaciones hacen referencia a la o las especies dominantes fisionómicamente (Gómez-Pompa, 1965; Meave et al., 2016).

Debido a esta gran diversidad de tipos de vegetación nombrados para las zonas de climas áridos y semiáridos y el poco conocimiento de algunas porciones del país, Rzedowski (2006), reunió todas las comunidades vegetales de porte arbustivo propias de estas zonas bajo el rubro de **matorral xerófilo**, reconociendo diez formas biológicas para la vegetación de zonas áridas. Mientras que, con anterioridad Miranda y Hernández-X. (1963), reconocieron 18 formas biológicas sobresalientes para las zonas áridas del centro y noreste de México (González-Medrano, 2012).

Se pueden observar matorrales en prácticamente todo tipo de condiciones topográficas y tipos de suelo, que con frecuencia son factores que influyen en la fisionomía y composición florística de las comunidades. Generalmente los suelos de estas áreas son de color pálido grisáceos o bien castaños y rojizos, con disponibilidad de nutrientes baja, bajo contenido de materia orgánica, de texturas variables, destacando los suelos arenosos y en algunos casos puede haber suelos salinos, yesosos o bien con un alto contenido de calcio (Briones et al., 2018; González-Medrano, 2012; Rzedowski, 2006).

En cuanto a las condiciones climáticas, estos ecosistemas se caracterizan por una disponibilidad limitada de agua, temperaturas extremas, una alta radiación solar y tasas de evapotranspiración superiores al volumen de agua disponible (Briones et al., 2018; Pérez-Aguilar et al., 2021). Las precipitaciones anuales son menores a 200 mm en las zonas áridas y de entre 500 y 700 mm en las semiáridas, además de ser irregulares. Los meses secos pueden variar de 7 a 12 por año, con periodos de hasta 18 meses sin lluvias notables y en las zonas más secas pueden incluso pasar varios años sin precipitaciones de importancia (Pérez-Aguilar et al., 2021; Rzedowski, 2006).

La temperatura media anual puede variar de 12 a 26° C en zonas semiáridas o bien variar de forma significativa entre el día y la noche con veranos calurosos e inviernos fríos. De acuerdo con la clasificación de Köppen estas condiciones corresponde a los climas BS y BW con numerosas variantes (González-Medrano, 2012; Rzedowski, 2006).

2.1.5. Métodos de estudio de comunidades vegetales

Las comunidades vegetales son un conjunto de especies caracterizadas por una fisionomía, estructura y composición florística asociada, en las que se integra la interacción entre factores bióticos y abióticos (Alanís-Rodríguez et al., 2020; Pompa-Castillo et al., 2021; Rangel-Ch. y Velázquez, 1997). Su estudio responde a las interrogantes ¿qué y cuánto hay?, ¿cómo se distribuye? y ¿qué y cuáles cambios hay?, para ello dividen sus características en cuantitativas y cualitativas (Atilio de la Orden, 2020; Sosa et al., 2006).

Los estudios de comunidades vegetales se han abordado principalmente desde dos puntos centrales, el florístico, es decir, las especies que las componen y el fisionómico referente a la forma o fenotipo de la vegetación. Además de diferenciar las especies que presentan los mayores valores en parámetros ecológicos como abundancia, densidad o presencia (Granados-Sánchez y Tapia-Vargas, 1990; Rangel-Ch. y Velázquez, 1997).

Asimismo, los estudios florísticos son relevantes en el entendimiento de la estructura de la vegetación, la diversidad de especies, abundancia y la dinámica de las comunidades vegetales. Al tiempo que, reconocer la forma de vida o forma

de crecimiento, se entiende como la estructura que presenta una especie producto de las condiciones ambientales y de estrategias adaptativas y evolutivas de las plantas (González-Rodríguez et al., 2010; Granados-Sánchez y Tapia-Vargas, 1990).

En primera instancia para cualquier estudio de vegetación se debe establecer el diseño del muestreo, pues de esto depende el tipo de análisis e interpretación de los datos (Alanís-Rodríguez et al., 2020). A partir del diseño de muestreo se determina el tipo de análisis interpretativo a realizarse, esto requiere que el muestreo sea representativo y para ello es necesario considerar la mayor variabilidad existente en toda una población estadística (Alanís-Rodríguez et al., 2020).

En estudios de composición de comunidades vegetales se han descrito varios métodos que utilizan distancias de espaciamiento, sustituyendo los métodos de parcelas fijas para muestreo de comunidades vegetales (Cottam y Curtis, 1956). Un de estos es el *Point-centered quarter method*, también conocido en español por diversas variantes como: Cuarto centrado en el punto, Cuadrantes centrados en un punto, Punto centro cuadrado, Punto cuadrante centrado, Punto-cuadrante o Punto cuadrante central.

Este método fue descrito originalmente por Cottam y Curtis en 1956, y consiste en que en cada punto se elige el árbol más cercano al punto en cada uno de los cuatro cuartos alrededor del punto, se miden las distancias desde el punto hasta cada uno de los cuatro árboles y se registran sus especies y otros parámetros como altura, diámetro a la altura de pecho (DAP), área basal y diámetro de copa (Abelleira y Colón, 2006; Cottam y Curtis, 1956). Además, no depende de un área fija y los puntos son seleccionados al azar o sistemáticamente a través de una línea imaginaria o senda, (Barrera, 2016; Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Los principales parámetros obtenidos con este método son la densidad de árboles, el área basal de los árboles y la frecuencia. Principalmente, este método es útil en el muestreo de árboles y resulta ventajoso por la rapidez de muestreo y el poco equipo y mano de obra que requiere, además de la flexibilidad de medición al no requerir un tamaño de unidad muestral, lo que lo hace apropiado

para bosques secundarios de estructura relativamente simple o bien en zonas áridas (Abelleira y Colón, 2006; Mostacedo y Fredericksen, 2000).

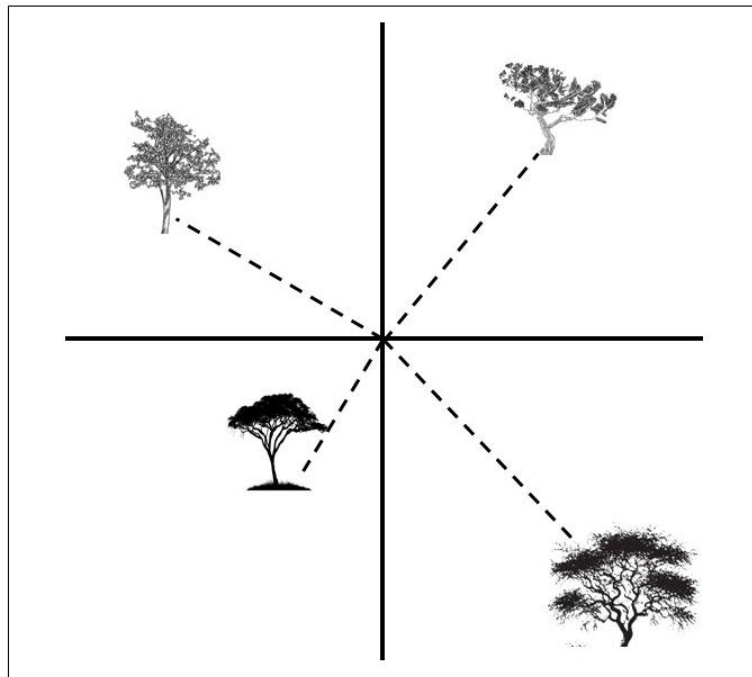


Figura 2. Esquema del método cuadrantes centrados en un punto. Las líneas punteadas ejemplifican la distancia del punto central al árbol más cercano en cada cuadrante (Elaboración propia).

La **caracterización fisionómica** de las comunidades vegetales se fundamenta en la estructura, definida por el ordenamiento en sentido vertical y horizontal de sus componentes. En este sentido se utilizan los valores de densidad o número de individuos según la superficie de muestreo, altura, cobertura o DAP, parámetros con los que se realiza la estimación de variables absolutas y relativas por especie, tales como abundancia, densidad, dominancia y frecuencia (Alanís-Rodríguez et al., 2020; Rangel-Ch. y Velázquez, 1997).

La abundancia relativa de una especie se refiere a la proporción de cada especie en el número total de individuos; la dominancia relativa, por su parte, se determina como la proporción de una especie del área basal de la especie en relación a la total evaluada. Por último, la frecuencia relativa de una especie se determina como un porcentaje en la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies de una unidad de muestra (Alanís-Rodríguez et al., 2020; Atilio de la Orden, 2020). Con la sumatoria de las variables relativas, se calcula el índice

de valor de importancia relativa (VIR) para la caracterización horizontal de comunidades vegetales, el cual tienen un valor máximo de 100 (Alanís-Rodríguez et al., 2020; Rangel-Ch. y Velázquez, 1997).

De forma complementaria a este índice se utilizan los diagramas estructurales y los perfiles de vegetación, que son descripciones estrictamente fisonómico-estructurales que describen comunidades vegetales, representadas por fotografías del perfil de una vegetación, ya sea de forma horizontal o vertical (Mostacedo y Fredericksen, 2000; Rangel-Ch. y Velázquez, 1997). Para la elaboración de estos perfiles se ha propuesto la utilización de fórmulas que permitan una descripción rápida, completa y de fácil comprensión de la comunidad. Por lo que se han planteado formularios que utilizan símbolos o letras para representar formas de vida, número de individuos, clases de alturas y densidad de especies. Entre estos formularios está el propuesto por Heyligers (1965), el sistema de Küchler, el sistema fisonómico de Dansereau, sistema fisonómico MEGA, sistema estructural de Larson (Granados-Sánchez y Tapia-Vargas, 1990).

Por otra parte, la **caracterización florística** trata de definir unidades de vegetación según las especies exclusivas o diferenciales indicadoras de condiciones ecológicas, mediante procedimientos no automatizados o clásicos y procedimientos automatizados. Los procedimientos automatizados utilizan técnicas estadísticas que permiten replicar y ponderar las similitud o disimilitud entre patrones encontrados, desde dos enfoques principales: la **clasificación** y la **ordenación** (Rangel-Ch. y Velázquez, 1997).

En la clasificación de las comunidades la similitud es un parámetro base en los estudios de comparación de comunidades con atributos similares. Existen muchos índices de similitud, entre los que están el índice de Margalef, índice de Shannon, índice de equitatividad, índice de diversidad verdadera de Shannon, índice de Simpson, índice de Sorensen, índice de Jaccard, índice de Morisita-Horn, índice de Bray-Curtis y el Porcentaje de similitud (Alanís-Rodríguez et al., 2020; Mostacedo y Fredericksen, 2000; Rangel-Ch. y Velázquez, 1997).

Mientras que la ordenación es un método complementario que, mediante el uso de análisis multivariados, puede identificar grupos o patrones en las relaciones existentes entre las especies, así como entre la variación de la vegetación y el ambiente, en donde las especies con distribuciones similares en el grupo ocupan posiciones cercanas en el espacio de muestras, correlacionando las varias variables ambientales con la vegetación (Barrera, 2016; Rangel-Ch. y Velázquez, 1997; Romero-Figueroa et al., 2015). En estudios de comunidades vegetales los métodos más comunes del análisis multivariado son los *componentes principales*: ordenación y análisis de gradiente indirecto, y *correspondencia canónica*: ordenación y análisis de gradiente directo (Romero-Figueroa et al., 2015).

El **Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC)**, es una técnica en la que se asume que las variables escogidas tienen relación con la vegetación y se procede a una combinación lineal de variables en un diagrama compuesto por ejes de ordenación, permitiendo reducir la variación en la composición de la comunidad vegetal respecto a la dispersión de los sitios de muestreo y las especies que la componen. Lo cual es ideal para analizar comunidades, en especial si las especies tienen una distribución normal en relación con las variables ambientales (Barrera, 2016; Romero-Figueroa et al., 2015).

2.1.6. Importancia de estudios sinicológicos en zonas áridas y semiáridas

Los ecosistemas áridos y semiáridos cubren aproximadamente entre el 50 y 60% del territorio mexicano, constituida por lomeríos y grandes planicies situadas desde a nivel del mar y hasta alrededor de los 3000 m. s. n. m. (Guarneros-Manoatl et al. 2024; Pérez-Aguilar et al., 2021; Sosa et al., 2006). Estos ecosistemas son fundamentales debido a su diversidad vegetal y alto nivel de endemismos, además, de brindar servicios ecosistémicos de soporte, abastecimiento, regulación y culturales fundamentales para el bienestar, la salud, medios de vida y supervivencia del 58% de la población mexicana que habita en ellos (Briones et al., 2020).

Al ser las zonas áridas de México ecosistemas tan diversos por las condiciones ambientales la riqueza genética de las plantas refleja una gran variedad de formas de vida, por lo que resulta relevante la identificación de especies vegetales. Pues esto contribuye al entendimiento de la estructura de la vegetación, diversidad de especies, la abundancia y dinámica de las comunidades vegetales, además de identificar una posibilidad de ingreso económico para los pobladores al reconocer plantas con uso potencial (González-Medrano, 2012; González-Rodríguez et al., 2010).

La cobertura vegetal de las zonas áridas y semiáridas de México se han visto expuestas a perturbación por factores climáticos y acciones humanas que causan desertificación. Entre las principales causas de desertificación y pérdida de cobertura vegetal se encuentran el sobrepastoreo, la expansión agrícola, la ganadería, el uso del fuego, la cosecha de madera y la extracción de especies (Montaño-Arias et al., 2006; Pérez-Aguilar et al., 2021). De la misma forma la degradación de suelos en estos ecosistemas, los vuelve sistemas vulnerables que pierden su fertilidad y la posibilidad de recuperar la cubierta vegetal (Montaño-Arias et al., 2006).

Por ello, los estudios en estas comunidades vegetales, deben ir más allá de describir su estructura y composición, deben evaluar las variables que determinan dichos atributos. El análisis ecológico de comunidades vegetales, es un elemento importante en la generación de información útil para propuestas de aprovechamiento, restauración y conservación de la biodiversidad de áreas reducidas o fragmentos de vegetación (González-Rodríguez et al., 2010; Maza-Villalobos et al., 2014).

2.1.7. Distribución e importancia de *Juniperus* L.

Los bosques de escuamifolios (cedros, enebros o táscate), se presentan como bosques bajos de 4 a 15 m de altura, en lugares de climas templados o fríos, como transición a pinares o encinares, a bosques de oyameles y zonas de clima seco, la vegetación está representada por especies del género *Juniperus* y *Cupressus* L., cuyos árboles son perennes. Con frecuencia formados por

individuos algo espaciados asociados con vegetación arbórea, arbustiva y herbácea (Miranda y Hernández-X., 1963; Randell, 2008).

El género *Juniperus* L. está ampliamente distribuido en regiones templadas del hemisferio norte; Adams (1994), distingue tres centros de diversificación de este género, uno en la zona desértica de México y suroeste de los Estados Unidos, otra en la región Mediterránea y la tercera en el oeste de China y Asia central. En América se encuentra de Canadá a Guatemala y comprende alrededor de 70 especies, de las cuales 22 se conocen en México y nueve son endémicas (Villaseñor, 2016).

La distribución de *Juniperus* en México va desde Baja California hasta Chiapas, por debajo o en sitios intermedios entre los bosques de *Pinus* L. y *Quercus* L., o bien entre las comunidades de pastizal y matorral xerófilo al noroeste del país. También se han reportado asociados con bosques de coníferas con impacto antropogénico y formando bosques poco extensos que apenas cubren 0.15 % de la superficie del país, en las partes bajas de las principales cadenas montañosas (Estrada-Castillón et al., 2014; Fonseca, 2006).

Dentro de Cupressaceae, *Juniperus* es el género considerado con mayor adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales. Su elevada tolerancia a sequías y la dispersión de sus gálbulas representan un de los factores responsables de su alta adaptabilidad (Estrada-Castillón et al., 2014). Además, se considera a las gálbulas o conos femeninos maduros como una de las características imprescindibles para la identificación confiable de las especies de este género, sumado a las características de la corteza y la forma de ramificación del tronco (Zamudio y Carranza, 1994).

Las especies del género *Juniperus* son de importancia económica debido al uso de la madera de algunas especies, la cual es apreciada por su textura uniforme, su solidez y alta resistencia a la putrefacción, utilizada en construcción de casas, pisos, puertas, ventanas y muebles, así como lambrines, lápices y tableros aglomerados. Otro uso de gran importancia son los aceites esenciales, los cuales se utiliza en la elaboración de la mayoría de los perfumes y colonias en el mundo (Borja de la Rosa et al., 2010), además de usos medicinales para tratar

problemas reumáticos, infecciones renales y para inhibir el desarrollo de algunos virus, como los que causan el herpes y el catarro (Fonseca, 2006).

2.2. Marco de Referencia

2.2.1. Contexto ecológico del Valle del Mezquital

El Valle del Mezquital pertenece a la región del Altiplano Mexicano, característico de la zona semiárida hidalguense, la cual debe su aridez a su posición a sotavento de la Sierra Madre Oriental, las condiciones climáticas, fisiográficas y biológicas presentes lo hacen destacar como un territorio de importancia económica, ecológica y social (Del Valle-Martínez et al., 2023; González-Medrano, 2012).

La región está conformada por 28 municipios del Estado de Hidalgo, con una superficie total de 642,653 hectáreas. Se caracteriza por ser una zona semiárida con temperaturas cálidas durante el día y la noche, con escasa precipitación que oscila entre 400 y 700 mm en promedio anual. La vegetación natural está compuesta principalmente por matorral xerófilo, con amplia variedad de cactáceas, agaves y leguminosas, y con aproximadamente 451 especies, pertenecientes a 289 géneros y 88 familias (García-Salazar, 2020; Lesser et al., 2018; Pérez-Serrano et al., 2021).

Entre las principales actividades de la región se encuentran la agricultura y la ganadería, como resultado, se han introducido sistemas de riego agrícola en esta región, lo que ha provocado cambios en el paisaje semiárido reduciendo significativamente la cobertura vegetal original (García-Salazar, 2020; Guarneros-Manoatl, et al. 2024). Asimismo, esta situación ha llevado a que la región sea reconocida como la segunda en el mundo con el mayor uso de aguas residuales en el sector agrícola (García-Salazar, 2020).

Por lo que, los estudios ecológicos en el Valle del Mezquital se han enfocado principalmente en el impacto de aguas residuales utilizadas para la agricultura (Cavallini y Joven, 2002; Fonseca-Salazar et al., 2021; García-Salazar, 2020; Landa y Neri, 2002; Lesser et al., 2018; Marín et al., 2019; Ponce-Lira et al., 2020; Rodríguez y Nieto, 2023), cambios ambientales e históricos (Mora-Villa et al., 2024; Pérez-Serrano et al., 2021; Zambrano et al., 2009; Montelongo-Reyes et

al., 2015) y trabajos sobre retos y alternativas para la sostenibilidad de la región (Aguilar Ojeda et al., 2022; Hernández-Armas, 2016; Marín et al., 2019; Pérez-Serrano et al., 2021; Rosas-Baños y García-Salazar, 2024).

Por su parte, los estudios ecológicos en torno a la vegetación del Valle del Mezquital han explorado la composición (Del Valle-Martínez et al., 2023), manejo, caracterización de comunidades arbustivas semiáridas y cambios en la flora local, con especial atención al mezquite (*Neltuma laevigata* (Humb. y Bonpl. ex Willd.) Britton y Rose) y sus interacciones, debido a los servicios ecosistémicos que brinda, como islas de fertilidad, planta de sucesión, planta que reduce la erosión, su contribución al ciclo de nutrientes, participación en la fijación de nitrógeno y mejora en la filtración de agua (Comisión Nacional Forestal, 2010; Del Valle-Martínez et al., 2023; Guarneros-Manoatl, et al. 2024; Guzmán-Cornejo et al., 2015; Montaña-Arias et al., 2006).

La riqueza florística y endemismos, de la vegetación semiárida de este valle es la más importante del desierto queretano-hidalguense, pero al mismo tiempo, es fuertemente destruida por las actividades humanas de la región (Montaña-Arias et al., 2006). Y aunque ha sido relativamente poco estudiada, los estudios de composición vegetal contribuyen a comprender los procesos que sostienen o pueden revertir la pérdida de la cobertura vegetal de los ecosistemas semiáridos del Valle del Mezquital.

2.2.2. *Juniperus* en comunidades vegetales de ecosistemas áridos y semiáridos

Las especies del género *Juniperus* constituyen un componente esencial en los ecosistemas arbóreos y arbustivos de las zonas áridos y semiáridos del hemisferio norte, donde forman matorrales y bosques bajos de 4 a 15 m de altura. Encontrándose bien adaptadas a regiones semidesérticas, con un desarrollo óptimo sobre suelos calcáreos (Fonseca, 2006; Mao et al., 2010; Rodríguez-Tejo y Vázquez-Soto, 2021).

Los ecosistemas dominados por *Juniperus* tienen una amplia variabilidad ecológica, se considera que esto se debe a la tolerancia relativa la sequía y los conos carnosos dispersados por aves. Además de que presentan tolerancia a

amplios intervalos de temperaturas, precipitación, degradación del hábitat y a la incidencia de incendios (Cuevas-Guzmán et al., 2023; Silva-Sáenz y Soto-González, 2017).

En México, las especies del género forman los denominados, por Miranda y Hernández-X. (1963), **bosques de escuamifolios o táscate**, los cuales son poco extensos cubren alrededor del 0.15% del territorio. Generalmente, se presentan como un bosque bajo formado por individuos espaciados, en suelos profundos a pie de serranías en climas templados, fríos o secos (Fonseca, 2006; Rodríguez-Tejo y Vázquez-Soto, 2021). Estos bosques forman una faja transicional entre pastizales, matorrales xerófitos o bosques tropicales caducifolios y pinares, encinares y oyametales, sin ser considerados como una fase de clímax sino una fase de sucesión secundaria (Silva-Sáenz y Soto-González, 2017).

Dentro del territorio mexicano, existen 20 especies de *Juniperus* de las cuales 10 son endémicas y algunas se encuentran en categoría de riesgo. Entre las especies de mayor distribución se encuentran *Juniperus deppeana* Steud. y *Juniperus flaccida* Schldtl. (Cuevas-Guzmán et al., 2023; Herrerías y Nieto, 2020). Especies sobre las cuales hay muchos estudios en cuanto a estructura poblacional, demografía, estructura del hábitat, caracterización de la madera, propiedades de sus aceites esenciales, análisis de patrones biogeográficos y estudios taxonómicos (Adams et al., 2017; Ayarde-Lozada y López-Mata, 2006; Boratyński et al., 2014; Borja de la Rosa et al., 2010; Cuevas-Guzmán et al., 2023; Herrerías y Nieto, 2020; Mao et al., 2010).

Respecto a los estudios de comunidades vegetales de *Juniperus*, existen trabajos en los que se delimitan tipos de vegetación con dominancia de enebros en zonas semiáridas como matorrales arborescentes con *Juniperus* spp. o matorral de táscate (Encina-Domínguez et al., 2019; Vicente y Galán, 2018). También se han escrito trabajos en los que se resalta una asociación entre especies del género *Pinus* con otras especies del género *Juniperus* (Granados-Victorino et al., 2015; Parra-Álvarez et al., 2022; Rosas-Chavoya et al., 2016). Esta asociación ha sido estudiada en el suroeste de Estados Unidos y ha sido

denominada como bosque de piñón y enebro (Pinyon-Juniper Woodlands), bosques que presentan una amplia variedad de estructuras influenciadas por el clima, la topografía y los regímenes de perturbación (National Park Service, s/f). Lo cual destaca la variabilidad de ecosistemas en los que se pueden desarrollar las especies de este género.



Figura 3. Fotografía tomada en el área de estudio, se logra observar a *Pinus cembroides*, *Juniperus flaccida* y *J. angosturana*.

2.2.3. Contexto ecológico y estudios previos de *Juniperus angosturana* R.P. Adams

En 1994, Adams propuso reconocer como especie distinta a *Juniperus monosperma* var. *gracilis* al identificar una distancia filogenética y la ausencia de coincidencia en las épocas de liberación de polen entre *Juniperus monosperma* var. *monosperma* y *Juniperus monosperma* var. *gracilis*. Describiendo así a ***Juniperus angosturana***, nombre que deriva de la localidad tipo (Angostura de Rio Verde) donde fue descrita, en San Luis Potosí.

Son arbustos de 2.5 a 7 m de altura, dioicos, los conos femeninos de color azul oscuro o claro, de hasta un 1 cm de diámetro y contienen una sola semilla por

cono. Las ramillas distales son rectas, no se curvan al ápice; de la parte dorsal de sus hojas no sobresale la glándula en su parte dorsal, a manera de una perla. Se distribuye en sitios de clima templado semiseco, especialmente en áreas que han sufrido disturbio, como la tala de árboles, en pastizales, matorrales y bosques, a altitudes de 1,300 a 2,000 metros. Desde el este de Coahuila, sur de Nuevo León, sureste de Tamaulipas, norestes de Querétaro y noreste de Hidalgo (Estrada-Castillón et al., 2014). Sin embargo, los registros de distribución de la especie son dispersos y discontinuos, de acuerdo con algunas bases de datos (GBIF, 2023; iNatusfera, s.f; EncicloVida, s.f.).



Figura 4. Fotografía tomada en el área de estudio a *Juniperus angosturana* con gálbulas presentes.

Los estudios sobre la especie se han centrado en análisis filogenéticos del género donde han ubicado a la especie dentro de un grupo parafilético (Adams, 1994; Adams et al., 2006; Adams y Schwarzbach, 2013; Uckele et al., 2021); en descripciones morfológicas y de distribución geográfica (Estrada-Castillón et al., 2014; Farjon, 2019; González-Elizondo et al., 2012), así como en modelos de distribución potencial o de panbiología (Cartereau, et al., 2023; Morales-Garduño et al., 2021; Trájer, 2023).

También se ha estudiado la composición de sus aceites esenciales para la clasificación del género *Juniperus* (Adams et al., 2007), y existen dos estudios en los que se evaluó la resistencia de la especie a hongos fitopatógenos que pueden ser usados como posibles controles biológicos, para muérdagos del género *Phoradendron* asociados a *J. angosturana* (Paz-Ponce et al., 2017; Paz-Ponce et al., 2022).

Sin embargo, los estudios de las comunidades vegetales donde se desarrolla la especie y asociaciones vegetales que presenta son escasos. Salinas-Rodríguez et al. (2013), reportan la presencia de *J. angosturana* en ecotonos entre chaparrales de encino y bosques de *Pinus cembroides* en el cañón de Iturbide, Nuevo León. Mientras que Estrada-Castillón et al. (2015) asocian la especie a ecotonos entre pastizales halófitos y bosques de pino piñonero en la región centro-sur de Nuevo León y el norte de Tamaulipas.

De este modo la carencia de estudios sobre la ecología, estructura de comunidades y asociaciones vegetales sobre *J. angosturana* limita la comprensión de su papel en los ecosistemas semiáridos que habita. Por lo que con este documento se busca contribuir al conocimiento ecológico de la especie que sea de utilidad en estudios orientados a su conservación y manejo.

2.3. Literatura citada

- Abelleira Martínez, O. J. y Colón González, D. Y. (2006). Comparación de método de muestreo en bosques secundarios aluviales: Parcela vs. Punto-Cuadrante. *Acta Científica*, 20(1-3), 63-66.
https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/ja_iitf_2006_abelleira001acta.pdf

- Adams, R. P. (1994). Geographic variation and systematics of monospermous *Juniperus* (Cupressaceae) from the Chihuahua Desert based on RAPD's and terpenes. *Biochemical Systematics and Ecology*, 22(7), 699-710.
<http://www.juniperus.org/uploads/2/2/6/3/22639912/124-1994bse22699.pdf>
- Adams, R., Nguyen, S., Morris, J. y Schwarzbach, A. (2006). Re-examination of the taxonomy of the one-seeded, serrate leaf *Juniperus* of southwestern United States and northern Mexico (Cupressaceae). *Phytologia*. 88.
https://www.researchgate.net/publication/237700612_Re-examination_of_the_taxonomy_of_the_one-seeded_serrate_leaf_Juniperus_of_southwestern_United_States_and_northern_Mexico_Cupressaceae/citations
- Adams, R. P., Beauchamp, P. S., Dev, V., y Dutz, S. M. (2007). New Natural Products Isolated from One-Seeded *Juniperus* of the Southwestern United States: Isolation and Occurrence of 2-Ethenyl-3-Methyl Phenol and Its Derivatives. *Journal of Essential Oil Research*, 19(2), 146–152.
<https://doi.org/10.1080/10412905.2007.9699247>
- Adams, R. P., y Schwarzbach, A. E. (2013). Taxonomy of the serrate leaf *Juniperus* of North America: Phylogenetic analyses using nrDNA and four cpDNA regions. *Phytologia*, 95(2), 172-178.
<http://www.juniperus.org/uploads/2/2/6/3/22639912/303.pdf>
- Adams, R. P., Gonzalez-Elizondo, M. S. y Gonzalez-Elizondo, M. (2017). Re-examination of the volatile leaf oils of *Juniperus flaccida*, *J. martinii*, and *J. poblana* Robert P. Adams. *Phytologia*, 99(3), 191-199.
https://www.phytologia.org/uploads/2/3/4/2/23422706/385_-_2017phyto_99_3_191-199adams_socorro_leaf_oils_flaccida_poblana_w_socorro_changes_5-12-17.pdf
- Aguilar Ojeda, C. E., Mendoza Guzmán, L., Rodríguez Ruíz, J. L. y Pérez Herrera, L. R. (2022). Technologies for dissemination and dissemination of cultural and natural heritage. *Scientific Journal of Applied Social and Clinical Science*, 2(13), 1-14.
<https://doi.org/10.22533/at.ed.2162132219071>

- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., y Marroquín de la Fuente, J. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación*. Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Atilio de la Orden, E. (2020). *Conceptos de Ecología*. La Comunidad Vegetal. Editorial Científica Universitaria, Universidad Nacional de Catamarca. San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina.
<http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/ecologia%202/Comunidad%20veg%20ecopa.pdf>
- Aranda-Pineda, J. A., Maruri Aguilar, B., y Sánchez Martínez, E. (2025). El matorral micrófilo del semidesierto queretano: conocimiento actual, amenazas y propuestas de conservación. *Naturaleza y Sociedad. Desafíos Medioambientales*, 11, 31-59. <https://doi.org/10.53010/nys11.02>
- Ayerde-Lozada, D., y López-Mata, L. (2006). Estructura poblacional y parámetros demográficos de *Juniperus flaccida* Schltdl. *Madera y bosques*, 12(2), 65-76. <https://doi.org/10.21829/myb.2006.1221243>
- Barrera Zubiaga, E. J. E. (2016). Caracterización, Clasificación y ordenación de las Comunidades de Pinos Piñoneros de Zacatecas. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio Chapingo: <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/eb7ce54d-167d-4abc-86e0-f4af66177cde/content>
- Boratyński, A., Wachowiak, W., Dering, M., Boratyńska K., Sękiewicz K., Sobierajska, K., Jasińska, A. K., Małgorzata K., Montserrat, J. M., Romo, A., Tolga O., Didukh, Y. (2014). The biogeography and genetic relationships of *Juniperus oxycedrus* and related taxa from the Mediterranean and Macaronesian regions. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 174(4), 637–653. <https://doi.org/10.1111/boj.12147>
- Borja de la Rosa, A., Machuca, R., Fuentes Salinas, M., Ayerde Lozada, D., Fuentes López, M., y Quintero Alcantar, A. (2010). Caracterización tecnológica de la madera de *Juniperus flaccida* var. *poblana* Martínez. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 16(2), 261-280. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.083>

- Briones, O., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Pavón, N. y Perroni, Y. (2018). Biomasa y productividad en las zonas áridas mexicanas. *Madera y bosques*, 24(spe), e2401898. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401898>
- Briones, O., Flores-Martínez, A., Castellanos, A. E., Perroni, Y., Hernández-Guerrero, A. (2020). Población, servicios ecosistémicos, ciclo del carbono y políticas públicas en las zonas secas de México. Ciclo del Carbono y sus Interacciones. *Elementos para Políticas Públicas*, 4(2), 79-98. <https://www.elementospolipub.org/ojs/index.php/epp/article/view/36>
- Calixto Flores Raúl, Herrera Reyes Lucila &Hernández Guzmán Verónica D. (2008). Ecología y Medio Ambiente, segunda edición. Editorial Progreso. México.
- Cartereau, M., Leriche, A., Médail, F., y Baumel, A. (2023). Tree biodiversity of warm drylands is likely to decline in a drier world. *Global Change Biology*, 29(13), 3707-3722. <https://doi.org/10.1111/gcb.16722>
- Chen, C., Z., X.-j., Wan, J.-z., gao, F.-f., Yuan, S.-s., Sol, T.-t., Ni, Z.-d. y Yu, J.-h. (2022). Predicting the distribution of plant associations under climate change: A case study on *Larix gmelinii* in China. *Ecology and Evolution*, 12(10), e9374. <https://doi.org/10.1002/ece3.9374>
- Comisión Nacional Forestal. (2010). *Estudio forestal regional: Valle del Mezquital (Clave UMAFOR 1304)*. Ciudad de México, México: Comisión Nacional Forestal. <https://www.scribd.com/document/415723181/2940-Estudio-Regional-Forestal-Del-Valle-Del-Mezquital-1304-Hidalgo>
- Cottam, G., y J. T. Curtis. 1956. The Use of Distance Measures in Phytosociological Sampling. *Ecology*, 37(3), 451-460. <https://www.jstor.org/stable/1930167>
- Cuevas-Guzmán, R., Canales-Piña, S., Sánchez-Rodríguez, E. V., Morales-Arias, J. G., Guzmán-Hernández, L., y Núñez-López, N. M. (2023). Atributos estructurales y hábitat de *Juniperus jaliscana* en Talpa de Allende, Jalisco, México. *Botanical Sciences*, 101(3), 670-684. <https://doi.org/10.17129/botsci.3235>
- Del Valle-Martínez, A.K., Alvarado-Cárdenas, L.O., Cabirol, N., Rojas-Oropeza, M., González-Ramírez, I.S. y IslasHernández, S. (2023). Inventario florístico de “El Alberto,” Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Phytoneuron* 2023-38: 1–18.

<https://www.phytoneuron.net/wp-content/uploads/2023/10/38PhytoN-FloristicaElAlberto.pdf>

EncicloVida. (s. f.). Enebro chino. EncicloVida. Recuperado el 16 de abril de 2024, de <https://enciclovida.mx/especies/155214>

Encina-Domínguez, J. A., Villarreal-Quintanilla, J. A., Estrada-Castillón, E., y Rueda-Moreno, O. (2019). Situación actual de la vegetación de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Botanical Sciences*, 97(4), 630-648. <https://doi.org/10.17129/botsci.2213>

Estrada-Castillón, E., Villarreal-Quintanilla, J.A., Salinas-Rodríguez, M., Ayala, C., González-Rodríguez, H. y Pérez, J. (2014). *Coníferas de Nuevo León, México*. https://www.researchgate.net/publication/275276634_Coniferas_de_Nuevo_Leon_Mexico

Estrada-Castillón E., Arévalo, J. R., Villareal-Quintanilla, J. Á., Salinas-Rodríguez, M. M., Encina-Domínguez, J. A., González-Rodríguez, H., y Cantú-Ayala, C. M. (2015). Classification and ordination of main plant communities along an altitudinal gradient in the arid and temperate climates of northeastern Mexico. *The Science of Nature*, 102, 9-10. <https://doi.org/10.1007/s00114-015-1306-3>

Fonseca, R. M. (2006). *Juniperus*, la ginebra, el incienso, los lápices y los repelentes. *Ciencias*, (81), 44-47. <https://www.revistacienciasunam.com/en/54-revistas/revista-ciencias-81/346-juniperus.html>

Fonseca-Salazar, M.A., Díaz-Avalos, C., Rochin-García, H., Espinosa-García, C. y Mazarí-Hiriat, M. (2021). Risk transfer from a megacity to a peri-urban agricultural community: wastewater reuse and effects on groundwater quality. *Environ Monit Assess* 193, 741. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09520-1>

García-Salazar, E. M. (2020). El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(54), e19741. <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.741>

GBIF Secretariat. (2023). *Juniperus angosturana* R. P. Adams. GBIF Backbone Taxonomy. Recuperado el 16 de abril de 2024, de <https://doi.org/10.15468/39omei>

- Gómez-Pompa, A. (1965). La vegetación de México. *Ciencias Botánicas*, 29, 76-120.
<https://doi.org/10.17129/botsci.1090>
- González-Medrano, F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México.
http://140.84.163.2:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/218/668_2012_Zonas_aridas_semiaridas_Mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Granados-Sánchez, D. y Tapia-Vargas, R. (1990). *Comunidades Vegetales*. Colección de Cuadernos Universitarios, Serie de Agronomía No. 19. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Granados-Victorino, R. L., Granados-Sánchez, D., y Sánchez-González, A. (2015). Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). *Madera y bosques*, 21(2), 23-43.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000200002&lng=es&tlng=es.
- González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R. G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., y Uvalle-Sauceda, J. I. (2010). Composición y estructura de la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *POLIBOTÁNICA*, 29(15), 91-106.
<https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/825>
- Guarneros-Manoatl, H., Valtierra-Pacheco, E., y Corona-Sánchez, J. E. (2024). *Neltuma laevigata* and its influence on soil fertility in the Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Agro Productividad*, 17(11), 225-230.
<https://doi.org/10.32854/agrop.v17i11.2987>
- Guzmán-Cornejo, L., Sánchez-Morales, A., y Pacheco, L. (2015). Helechos y licofitas del municipio de Cardonal, Hidalgo, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(3), 573-581. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.06.004>
- Hernández-Armas, C. A. (2016). Otomíes del Valle del Mezquital: retos ante la preservación o la transformación de una cultura. *DIVULGARE Boletín Científico De La Escuela Superior De Actopan*, 3(5). <https://doi.org/10.29057/esa.v3i5.1645>

- Herrerías Mier, L. G., y Nieto de Pascual Pola, M. C. C. (2020). Características estructurales y demográficas de *Juniperus deppeana* Steud. en dos localidades del estado de Tlaxcala. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(61), 124-151. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.618>
- Landa, R. y Neri, C. (2002). El diagnóstico socioambiental como herramienta para orientar política pública en la gestión de riesgos hidrometeorológicos en la región semiárida del Alto Mezquital en Hidalgo y el Centro-Oeste de Querétaro. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental, SEMARNAT, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. <http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Valle-Del-Mezquital-Diagnostico-Riesgos-Hidrometeorologicos.pdf>
- Lesser, L. E., Mora, A., Moreau, C., Mahlknecht, J., Hernández-Antonio, A., Ramírez, A. I., y Barrios-Piña, H. (2018). Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system: Mezquital Valley, Mexico. *Chemosphere*, 198, 510-521. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.154>
- Mao, K., Hao, G., Liu, J., Adams, R.P. y Milne, R.I. (2010). Diversification and biogeography of *Juniperus* (Cupressaceae): variable diversification rates and multiple intercontinental dispersals. *New Phytologist*, 188, 254-272. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03351.x>
- Marín Celestino, A. E., Ramos Leal, J. A., Martínez Cruz, D. A., Tuxpan Vargas, J., De Lara Bashulto, J. y Morán Ramírez, J. (2019). Identification of the Hydrogeochemical Processes and Assessment of Groundwater Quality, Using Multivariate Statistical Approaches and Water Quality Index in a Wastewater Irrigated Region. *Water*, 11(8), 1702. <https://doi.org/10.3390/w11081702>
- Maza-Villalobos, S., Macedo-Santana, F., Rodríguez-Velázquez, J., Oyama, K. y Martínez-Ramos, M. (2014). Variación en la estructura y composición de las comunidades arbóreas y arbustivas entre los tipos de vegetación de la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán. *Ciencias Botánicas*, 92(2), 243-258. <https://doi.org/10.17129/botsci.104>

- Meave, J. A., Ibarra-Manríquez, G. y Larson-Guerra, J. (2016). Capítulo 14. Vegetación: Panorama histórico, rasgos generales y patrones de pérdida. En Moncada Maya, J. O. y López-López, Á. (Eds.), *Geografía de México: Una reflexión espacial contemporánea* (pp. 216-234). UNAM Instituto de Geografía. https://geodigital.igg.unam.mx/geografia_mexico/index.html/interior_1.html
- Miranda, F. y Hernández-X., E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28, 29-179. <https://doi.org/10.17129/botsci.1084>
- Montaño-Arias, N. M., García-Sánchez, R., Ochoa de la Rosa, G. y Monroy-Ata, A. (2006). Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 193-205. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311108006.pdf>
- Montelongo-Reyes, M. M., Otaza-Sánchez, E. M., Romo-Gómez, C., Gordillo-Martínez, A. J. y Galindo-Castillo. (2015). GHG and black carbon emission inventories from Mezquital Valley: The main energy provider for Mexico Megacity. *Science of The Total Environment*, 527–528, 455-464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.129>
- Morales-Garduño, L., Solano, E., Villaseñor, J. L., y Montaño-Arias, G. (2021). Panbiogeografía de los matorrales de la región xerofítica mexicana. *Botanical Sciences*, 99(3), 611-627. <https://doi.org/10.17129/botsci.2773>
- Mora-Villa, L. A., León-Paniagua, L., García-Martínez, R. y Arroyo-Cabrales, J. (2024). Presence of Mercury in an Arid Zone of Mexico: A Perspective Based on Biomonitoring of Mammals from Three Trophic Guilds. *Biology*, 13(10), 811. <https://doi.org/10.3390/biology13100811>
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR), Editorial El País, Santa Cruz, Bolivia. <http://www.bionica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>
- Mousaei Sanjerehei, M., y Rundel, P. W. (2020). A comparison of methods for detecting association between plant species. *Ecological Informatics*, 55, 101034. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.101034>

- Natusfera. (s. f.). Enebro chino (*Juniperus angosturana*). Natusfera. Recuperado el 16 de abril de 2024, de <https://spain.inaturalist.org/taxa/135936-Juniperus-angosturana>
- National Park Service. (s/f). Pinyon-juniper woodlands - introduction & distribution. National Park service. Nps.gov. Recuperado el 4 de diciembre de 2024, de https://www.nps.gov/articles/pinyon-juniper-woodlands-distribution.htm?utm_source=chatgpt.com
- Parra-Álvarez, J., Granados-Sánchez, D., Granados-Victorino, R. L., y Villanueva-Morales, A. (2022). Caracterización estructural y clasificación de los bosques piñoneros de San Luis Potosí, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 29(1), 61–98. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.03.021>
- Paz-Ponce, M., Melchor-López, A., Rodríguez-Pagaza, Y., Sánchez-Peña, S. R., Flores-Olivas, A., Villarreal-Quintanilla, J.A. y Catú-Sifuentes, M. (2017). Pruebas de selectividad de hongos fitopatógenos de *Phoradendron* spp. como potenciales controles biológicos del muérdago. <https://somecima.com/wp-content/uploads/2018/07/2017.pdf#page=38>
- Paz-Ponce, M., Rodríguez-Pagaza, Y., García-Martínez, O., Soto-Hernández, M., Villarreal-Quintanilla, J. Á., Sánchez-Peña, S. R. y Flores-Olivas, A. (2022). *Cionomimus insolens* y *Anthonomus phoradendrae* Asociado con el muérdago, *Phoradendron densum*, en Arteaga, Coahuila, México. *Southwestern Entomologist*, 47(3), 771-774. <https://doi.org/10.3958/059.047.0327>
- Pérez-Aguilar, L. Y., Plata Rocha, W., Monjardín Armenta, S. A., Franco Ochoa, C., y Zambrano Medina, Y. G. (2021). The identification and classification of arid zones through multicriteria evaluation and geographic information systems - case study: arid regions of northwest Mexico. ISPRS. *International Journal of Geo-information*, 10(11), 720. <https://doi.org/10.3390/ijgi10110720>
- Pérez-Serrano, D., Cabirol, N., Martínez-Cervantes, C., y Rojas-Oropeza, M. (2021). Mesquite management in the Mezquital Valley: A sustainability assessment based on the view point of the Hñähñú indigenous community. *Environmental and Sustainability Indicators*, 10, 100113. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100113>

- Pompa-Castillo E.F., Luna-Cavazos M., García-Moya E. (2021). Composición y estructura de comunidades asociados de pino-izotal (*Pinus pseudostrobus-Nolina parviflora*), en Puebla, México. *Caldasia* 43(1), 65–79. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v43n1.82394>
- Ponce-Lira, B., Serrano-Olvera, M., Rodríguez-Martínez, N., Sánchez-Herrera, S.G. (2020). Polluted Wastewater for Irrigation in the Mezquital Valley, Mexico. In: Otazo-Sánchez, E., Navarro-Frómata, A., Singh, V. (eds) *Water Availability and Management in Mexico. Water Science and Technology Library*, 88. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24962-5_10
- Randell Badillo, J. (2008). Ordenamiento ecológico territorial regional en los municipios donde se ubica el Parque Nacional Los Mármoles. Consejo Estatal de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DQ006. México D. F. http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfDQ006_3a_parte.pdf
- Rangel-Ch., J. O. y Velázquez, A. (1997). Métodos de estudio de la vegetación. 59-87 pp. En: Rangel-Ch, J.O., P. Lowy-C, M. Aguilar-P. (eds.), *Diversidad Biótica II. Tipos de Vegetación en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales, Instituto de hidrología, Meteorología y estudios Ambientales (IDEAM)-Ministerio del Medio Ambiente, Comité de Investigaciones y Desarrollo Científico-CINDEC.U. N, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Bogotá, D.C. pp. 436. <https://www.researchgate.net/publication/339510090>
- Rodríguez, N. y Nieto, J. C. (2023, 4 de septiembre). Alternativas para una agricultura sustentable en el Valle del Mezquital. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). <https://www.cimmyt.org/es/noticias/alternativas-para-una-agricultura-sustentable-en-el-valle-del-mezquital/>
- Rodríguez-Trejo, D. y Vázquez-Soto, E. (2021). *Juniperus* L. (Cupressaceae). https://www.researchgate.net/publication/351263142_Juniperus_L_Cupressaceae

- Rocha-Ramírez, A., Chávez-López, R., Ramírez-Rojas, A., y Cházaro-Olvera, S. (2013). *Comunidades, Métodos de estudio*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. México.
- Romero-Figueroa, G., Estrada-Castillón, E., Lozano-Cavazos, E. A., Mellado-Bosque, M. y Ortiz-Ávila, V. (2015). Ordenación de las comunidades vegetales en el centro del estado de Chihuahua, México. *Agraria*, 12(3), 85-95.
<https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/50263>
- Rosas-Baños, M., García-Salazar, E. M. (2024). Wastewater and agriculture in Mezquital valley (Mexico): analyzing alternatives from circular economy and ecological economy using bibliometric review. *Discov Water*, 4, 61
<https://doi.org/10.1007/s43832-024-00111-y>
- Rosas-Chavoya, M., Granados-Sánchez, D., Granados-Victorino, R. L., y Esparza-Govea, S. (2016). Clasificación y ordenación de bosques de pino piñonero del estado de Querétaro. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 52-73.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000100052&lng=es&tlng=es
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/vegetaciondeMexico>
- Salinas-Rodríguez, M. M., Estrada Castillón, E., y Villarreal Quintanilla, J. Á. (2013). Flora and phytogeography of the Cañón de Iturbide, Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 7(2), 803-819.
<http://www.jstor.org/stable/24621165>
- Sánchez Sánchez-Cañete, F. J. y Pontes Pedrajas, A. (2010). La comprensión de conceptos de ecología y sus implicaciones para la educación ambiental. *Rev. Eureka Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7, No Extraordinario, 271-285.
<https://www.redalyc.org/pdf/920/92013009010.pdf>
- Santamaría, L. H. G., y Jaramillo, D. F. J. (1991). Análisis fisiográfico para el estudio de las comunidades vegetales. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (10), 23-40.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7990181.pdf>

- Silva-Sáenz, P. y Soto-González, J. T. (2017). Pteridoflora del bosque de *Juniperus* del cerro El Molcajete, de la comunidad Palmitas, municipio de Tuxpan, Michoacán. *Ciencia Nicolaita*, 68, 24-44. <https://doi.org/10.35830/cn.vi68.271>
- Sosa, M., Galarza, J. L., Lebgue, T., Soto, R. y Puga, S. (2006). Clasificación de las comunidades vegetales en la Región Árida del Estado de Chihuahua, México. *Ecología Aplicada*, 5(1-2), 53-59. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162006000100007&lng=es&tlng=es
- Trájer, A. J. (2023). Clarification of the Lopingian palaeoclimatic conditions of the northwestern coastal regions of Palaeotethys based on the transdanubian geological record. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 316, 104917. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.104917>
- Trejo, I., Hernández, J. y Villers, L. (2000). El cambio climático y la vegetación en México. México: Una Visión Hacia El Siglo XXI. El Cambio Climático en México. https://www.academia.edu/29919426/Afectaci%C3%B3n_de_las_comunidades_vegetales_de_M%C3%A9xico_ante_el_cambio_clim%C3%A1tico?auto=download&email_work_card=download-paper
- Uckele, K. A., Adams, R. P., Schwarzbach, A. E., y 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. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.107022>
- Vicente Orellana, J. A. y Galán de Mera, A. (2018). Las comunidades vegetales con *Juniperus* L. en Extremadura. Conocimiento y estado de conservación. <https://www.researchgate.net/publication/338548473>
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559-902. <https://www.redalyc.org/pdf/425/42547314001.pdf>
- Zambrano García, A., Medina Coyotzin, C., Rojas Amaro, A., López Veneroni, D., Chang Martínez, L. y Sosa Iglesias, G. (2009). Distribución y fuentes de contaminantes atmosféricos bioacumulables en el Valle del Mezquital, México, reflejados por la

planta atmosférica *Tillandsia recurvata* L. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 6479–6494.
<https://doi.org/10.5194/acp-9-6479-2009>

Zamudio, S. y Carranza, E. (1994). Cupressaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 29. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán. <http://inecolbajio.inecol.mx/floradelbajio/documentos/fasciculos/ordinarios/Cupressaceae%2029.pdf>

CAPITULO III. ARTÍCULO CIENTÍFICO*

Caracterización y ordenación del matorral de *Juniperus angosturana* R.P. Adams del Valle del Mezquital, Hidalgo

Characterization and arrangement of scrub of *Juniperus angosturana* R.P. Adams in the Mezquital Valley, Hidalgo

Flores-Martínez Sarahí ^a; Granados-Victorino Ro Linx ^b; *Granados-Sánchez Diódoro ^a; Guízar-Nolazco Enrique ^a; Corona-Ambriz Alejandro ^a; Castañeda-Díaz Saúl ^b; Parra-Álvarez Joaquín ^c.

^a División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México- Texcoco, km 38.5. C. P. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

sarahi.fmartinez@gmail.com, dgranadoss@chapingo.mx, tropsec@hotmail.com, acoronaa@chapingo.mx

^b Departamento de Preparatoria Agrícola, Área de Biología, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. C. P. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. rgranadosv@chapingo.mx, scastanedad@chapingo.mx

^c Departamento de Preparatoria Agrícola, Área de Agronomía, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. C. P. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. jparraa@chapingo.mx

***Corresponding author:** dgranadoss@chpaingo.mx, tel.: 59-5952-1500, ext. 5331.

Resumen

Juniperus angosturana R.P. Adams, es una especie endémica de México que ha sido escasamente estudiada desde una perspectiva ecológica. El límite sur de su distribución geográfica se ubica en el Valle del Mezquital, el cual se caracteriza por una intensa

presión antrópica, la expansión agrícola y el sobrepastoreo. En este contexto, resulta prioritario realizar un análisis florístico y estructural de las comunidades vegetales dominadas por *Juniperus angosturana*, con el fin de comprender los factores medioambientales que influyen en su fisonomía. Para describir la estructura de la vegetación de estas comunidades, se empleó el método de cuadrantes centrados en un punto, mediante el cual se calcularon los valores estructurales de las especies arbustivas y arbóreas. La delimitación de asociaciones vegetales se realizó mediante un análisis de agrupamiento. Así mismo, se aplicó un Análisis de Correspondencias Canónicas para evaluar la influencia de variables ambientales y edáficas en la estructura y la composición florística. Como resultados, se identificaron cuatro asociaciones dominadas por *Juniperus angosturana*, cuya diferenciación estructural mostró una fuerte correlación con las características del suelo, en particular con la textura, concentraciones de calcio, potasio y fósforo, así como el pH.

Palabras clave: asociaciones vegetales, zonas áridas, vegetación, enebro, análisis estructural.

Abstract

Juniperus angosturana R.P. Adams is a species endemic to Mexico that has received scant attention in ecological studies. The southern limit of its geographic distribution is located in the Mezquital Valley, a region characterized by intense anthropogenic pressure, agricultural expansion, and overgrazing. In this context, a floristic and structural analysis of plant communities dominated by *Juniperus angosturana* is essential to understand the environmental factors that influence their physiognomy. The vegetation structure of these communities was described through the utilization of the point-centred quadrant method. This method enabled the calculation of the structural

values of shrub and tree species. The delimitation of plant associations was achieved through the implementation of clustering analysis. Canonical Correspondence Analysis was also employed to assess the impact of environmental and soil variables on floristic structure and composition. Consequently, four associations dominated by *Juniperus angosturana* were identified, whose structural differentiation exhibited a strong correlation with soil characteristics, particularly texture, calcium, potassium and phosphorus concentrations, as well as pH.

Keywords: plant associations, arid zones, vegetation, juniper, structural analysis.

Introducción

La vegetación asociada a climas áridos y semiáridos se distribuye en diversas regiones que abarcan más de la mitad del territorio mexicano (Pérez-Aguilar et al., 2021). Estas regiones, presentan una gran diversidad de matorrales cuya composición y estructura varían de una zona a otra, y los cuales constituyen ecosistemas claves para la conservación de la biodiversidad. Entre los tipos de matorrales, destacan las formas de vida arbustivas, por su dominancia, biomasa y su efecto en el ambiente y otras especies (González-Medrano, 2012; Rzedowski, 2006).

En términos ecológicos, las especies del género *Juniperus* L. desempeñan un papel ecológico fundamental en las zonas áridas, ya que contribuyen a la formación, protección y retención del suelo (Allegrezza et al., 2016; Romo et al., 2012), así como a la conservación de la biodiversidad al funcionar como refugio o como alimento para la fauna silvestre (Fonseca, 2006). Además, dichas especies facilitan la germinación de semillas de otras plantas, al formar sitios seguros de germinación o “islas de recursos” (Miwa y Reuter, 2010; Villanueva-Díaz et al., 2016). Su alta adaptabilidad a condiciones ambientales adversas – como la tolerancia a las sequías, al fuego, a temperaturas

extremas o la capacidad de crecer en suelos pobres – las convierte en especies clave para la restauración ecológica (Herrerías y Nieto, 2020).

Juniperus angosturana R.P. Adams, (sinónimo de *Juniperus monosperma* var. *gracilis* Mart), es una especie arbustiva endémica de México, con copas irregulares o redondeadas, que puede alcanzar hasta dos metros de altura, y en condiciones específicas, hasta siete metros. Se desarrolla en regiones de clima templado semiseco, donde forma parte de comunidades vegetales como pastizales, matorrales y bosques bajos escuamifolios. Su distribución altitudinal varía entre los 1300 a los 2000 metros sobre el nivel del mar, abarcando desde los estados de Coahuila y Nuevo León a partes bajas del Altiplano Mexicano —donde establece asociaciones vegetales con *Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides*, particularmente en zonas afectadas por disturbios ecológicos (Estrada-Castillón et al., 2014)— hasta el estado de Hidalgo, en el Valle del Mezquital, que constituye el límite sur de su distribución.

El Valle del Mezquital se ha caracterizado por una intensa actividad humana y cambios en el uso de suelo, lo cual ha provocado una disminución significativa de la cobertura forestal. Entre las causas principales se encuentran el sobrepastoreo, la labranza postcosecha y el manejo inadecuado del suelo agrícola (Hernández-González et al., 2018).

Dado que las zonas áridas y semiáridas son especialmente sensibles a disturbio antropogénico (González-Medrano, 2012), es importante conocer la organización ecológica de estos matorrales, a fin de evitar su degradación progresiva. La caracterización y ordenación de los matorrales dominados por *J. angosturana* constituye una necesidad para analizar los factores que determinan su estructura y la composición florística asociada, a su vez, permitirá desarrollar estrategias pertinentes de manejo,

conservación y aprovechamiento racional, tanto de la especie como de los ecosistemas en los que se encuentra.

Así, el objetivo del presente trabajo es caracterizar las asociaciones vegetales dominadas por *Juniperus angosturana* R.P. Adams en el Valle del Mezquital, Hidalgo, y ordenarlas con base en factores medioambientales y edáficos. Esta caracterización busca proporcionar una base técnica y ecológica que permita orientar las acciones concretas de conservación y manejo sustentable de los matorrales donde esta especie actúa como elemento estructural dominante.

Materiales y métodos

Área de estudio

La presente investigación se realizó en el límite sur de la distribución geográfica de *Juniperus angosturana* (GBIF, 2023; iNatusfera, s.f; EncicloVida, s.f.). Las localidades muestreadas fueron La Florida y San Cristóbal pertenecientes al municipio Cardonal, ubicado en la región del Valle del Mezquital, al noreste del estado de Hidalgo (Figura 1), la cual forma parte del altiplano central mexicano y de la provincia fisiográfica de la meseta neovolcánica, ahora Faja Volcánica Transmexicana (Hernández-Armas, 2016). La zona de estudio se localiza a una altitud promedio de 2040 metros sobre el nivel del mar, los climas presentes son el subhúmedo con lluvias en verano (Cw1), el semiseco templado (BS1kw), semiseco semicálido (BS0hw) y seco semicálido (BS0h). La vegetación de la zona se compone de bosques de pino y encino, matorral xerófilo, pastizales y áreas destinadas a la agricultura (Guzmán-Cornejo et al., 2015). La precipitación anual promedio es de 409 milímetros y la temperatura promedio es de 18°C (Hernández-Armas, 2016).

Se realizaron recolecciones botánicas generales estacionales durante los meses de octubre de 2023 y abril, junio, agosto, y noviembre de 2024, a fin de obtener muestras de especies perennes y anuales. Los ejemplares recolectados fueron herborizados para su determinación taxonómica, mediante el uso de claves taxonómicas y la consulta a especialistas, para finalmente ser integrados a colecciones de herbario. En total se revisaron 143 ejemplares recolectados por Enrique Guízar Nolasco (núms. 7981-8123, excepto 7997 y 8022) y Rubén Herrera Flores, depositados en CHAP herbario de la Universidad Autónoma Chapingo, con duplicados de 7981, 7982, 7986, 7992, 7994, 7995, 8015, 8023, 8025, 8027, 8030, 8031, 8039, 8040, 8042, 8045, 8069, 8072, 8076, 8080, 8082, 8083, 8111, 8113, 8114, 8115a y 8119 en UAMIZ herbario de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

Variables ambientales y edáficas

En total se muestrearon ocho sitios, cuatro en cada localidad. En cada uno se registraron las siguientes variables ambientales: exposición, determinada con una brújula; pendiente del terreno, medida con un clinómetro SUUNTO; y altitud registrada mediante una antena GPS Garmin eTrex 20x.

Para determinar las condiciones edáficas, en cada sitio se recolectó una muestra de aproximadamente un kilogramo de suelo, previa remoción de la hojarasca superficial. Posteriormente, se realizaron las siguientes determinaciones: pH, materia orgánica (MO), nitrógeno inorgánico (N inorg.), fósforo asimilable (P), potasio (K), calcio (Ca), hierro (Fe), así como los porcentajes de limo, arena y arcilla, con los que se determinó la textura del suelo (TEX).

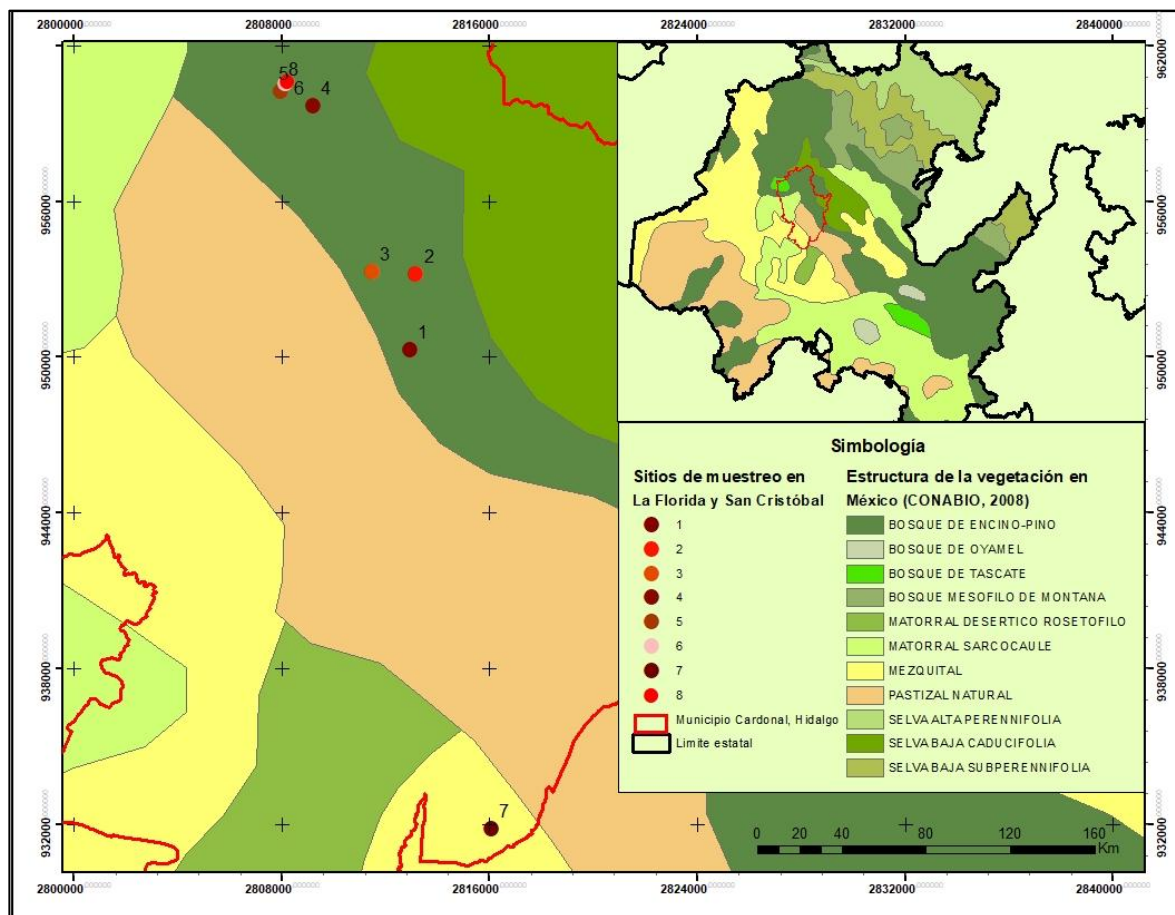


Figura 5. Ubicación de la zona de estudio y de los sitios de muestreo en las localidades La Florida y San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo (Carta Fisonómica-Estructural de la Vegetación de México, Portal de Información Geográfica-CONABIO, 2023).

Caracterización estructural de la vegetación

Para describir la estructura de la vegetación se utilizó el método de cuadrantes centrados utilizado por Granados-Victorino et al. (2015), el cual es un método que no depende de un área delimitada, basándose en las distancias entre puntos fijos y los individuos más cercanos en cada cuadrante.

En cada sitio se establecieron diez puntos de muestreo, con una distancia de aproximadamente 20 metros entre sí. En cada punto, se delimitaron cuatro cuadrantes y

en cada uno se midió la distancia del punto central hasta el árbol o arbusto más cercano con una altura igual o mayor a un metro.

Los individuos registrados fueron identificados taxonómicamente, se midió su altura con un flexómetro y se estimó la cobertura de copa promediando dos medidas de diámetro de la copa, tomadas en dirección norte-sur y este-oeste. Con los datos obtenidos y siguiendo la metodología propuesta por Alanís-Rodríguez et al. (2020), se calcularon los valores relativos de abundancia, dominancia y frecuencia de las especies registradas. A partir de estos parámetros se estimó el índice de valor de importancia relativa (VIR) el cual permite determinar la relevancia estructural de cada especie en la comunidad.

Clasificación y Ordenación

En este trabajo se adoptó la propuesta de González-Medrano (2004), para definir los tipos de vegetación presentes en el área de estudio, ya que consideramos se trata de un sistema detallado que integra aspectos de fisionomía, estructura, fenología y composición florística.

Con base en el VIR de cada especie, se realizó un análisis de agrupamiento utilizando el índice de disimilitud de Bray-Curtis como medida de distancia y el algoritmo de unión por promedio entre grupos (UPGMA). A partir de un nivel de corte del 55% de la información retenida en el dendrograma, se identificaron los sitios con mayor semejanza estructural y se definieron las asociaciones vegetales dominantes.

Para representar gráficamente la estructura vertical y horizontal de estas asociaciones, se elaboró un perfil semirrealista de la vegetación, tomando como base los valores estructurales obtenidos.

El análisis de ordenación se realizó mediante un Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC), el cual consiste en una regresión múltiple donde se relacionó el VIR

de las especies con las variables ambientales y edáficas registradas. Ambos análisis se llevaron a cabo con el software Past v.4.03 (Hammer et al., 2001).

Resultados

Se identificaron 89 especies en las comunidades vegetales con presencia de *Juniperus angosturana* en el Valle del Mezquital. Dichas especies pertenecen a 73 géneros y 41 familias. La familia más representativa fue Asteraceae con 10 especies, seguida de Cactaceae y Fabaceae con 8 especies cada una y Asparagaceae con 7 especies. La localidad con mayor riqueza específica fue La Florida con 72 especies.

Cuadro 1. Clasificación de la vegetación en las localidades La Florida y San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo, basado en lo propuesto por González-Medrano (2004), para la vegetación de México.

Tipo de vegetación	Bosque bajo de escuamifolios
Asociación	A. <i>Juniperus angosturana</i> – <i>Juniperus flaccida</i>
Tipo de vegetación	Bosque bajo de aciculifolios
Asociación	B. <i>Juniperus angosturana</i> – <i>Pinus cembroides</i>
Tipo de vegetación	Matorral mediano rosetófilo
Asociación	C. <i>Juniperus angosturana</i> – <i>Nolina parviflora</i>
Tipo de vegetación	Bosque bajo espinoso
Asociación	D. <i>Juniperus angosturana</i> – <i>Neltuma laeviagata</i>

Juniperus angosturana se desarrolla principalmente en matorrales, aunque también puede figurar como un elemento importante en los bosques de coníferas de las zonas semiáridas, en especial en aquellos dominados por pinos piñoneros y táscates (*Juniperus* spp.) (Romme et al., 2009). En el Valle del Mezquital, en las localidades muestreadas se

reconocieron cuatro tipos de vegetación (Cuadro 1) y se registraron cuatro asociaciones vegetales con presencia de *J. angosturana*, las cuales presentan diferencias estructurales y florísticas (Figura 2 y Figura 3). A continuación, se describen las características de cada una de dichas asociaciones.

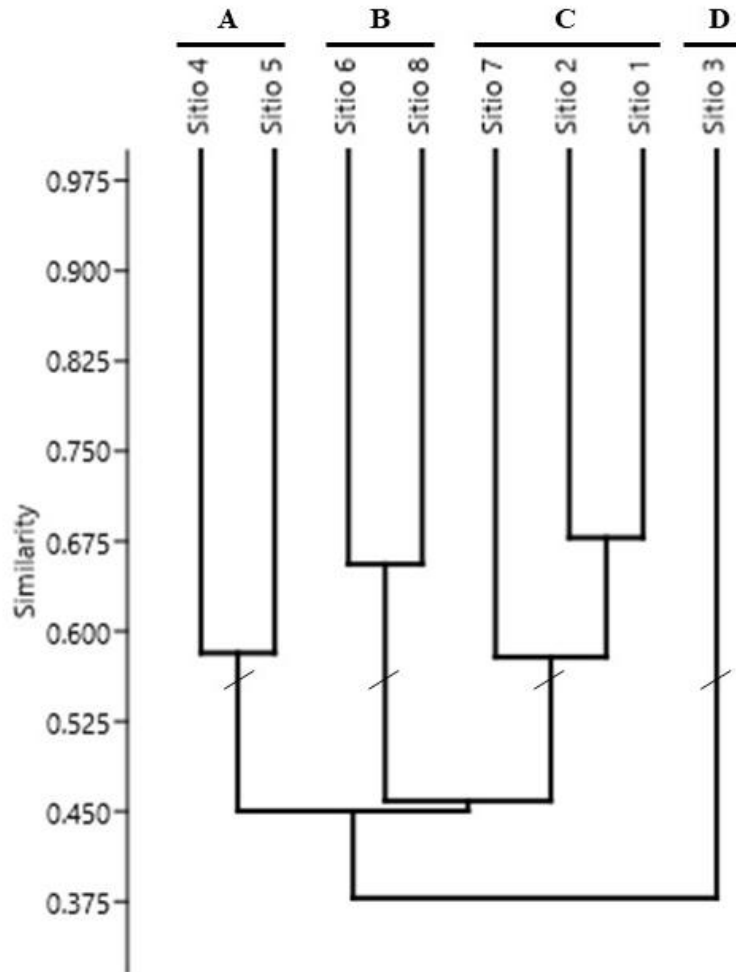


Figura 6. Dendrograma de similitud estructural entre sitios con presencia de *Juniperus angosturana* en La Florida y San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo. A. Asociación *Juniperus angosturana* – *Juniperus flaccida*, B. Asociación *Juniperus angosturana* – *Pinus cembroides*, C. Asociación *Juniperus angosturana* – *Nolina parviflora*, D. Asociación *Juniperus angosturana* – *Neltuma laeviagata*.

A. Asociación *Juniperus angosturana* – *Juniperus flaccida*

Esta asociación vegetal se encuentra en la localidad de San Cristóbal, en específico en los sitios 4 y 5, en altitudes que oscilan entre los 1970 y 2070 m.s.n.m., con pendiente de 10 al 20% y exposición noroeste. Los suelos son pedregosos, con textura franco-arcillosa, moderadamente alcalinos, con bajo contenido de MO y altas concentraciones de Ca. La comunidad vegetal es coodominada por *Juniperus angosturana* y *Juniperus flaccida* Schltl., con VIR de 44% y 31% respectivamente. Se trata de un bosque ralo, en el que predominan los individuos de porte bajo que no sobrepasan los cuatro metros de altura, en cuyos claros es común la presencia de arbustos. Otras especies que se pueden encontrar son *Agave lechuguilla* Torr., *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck var. *salmiana*, *Berberis pallida* Benth., *Calliandra eriophylla* Benth., *Cercocarpus fothersgilloides* Kunth, *Chrysactinia mexicana* A. Gray, *Cylindropuntia imbricata* (Haw.) F.M. Knuth, *Dalea bicolor* Humb. & Bonpl. ex Willd., *Dalea greggii* A. Gray, *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto, *Ferocactus latispinus* (Haw.) Britton & Rose, *Flourensia resinosa* (T. S. Brand.) Blake, *Malacomeles denticulata* (Kunth) Decne., *Mammillaria* sp., *Milla biflora* Cav., *Opuntia rastrera* F. A. C. Weber, *Opuntia robusta* H.L. Wendl. ex Pfeiff., *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck, *Perymenium mendezii* DC., *Sanvitalia procumbens* Lam., *Senna guatemalensis* var. *hidalgensis* H. S. Irwin & Barneby, *Thymophylla setifolia* Lag., así como algunos individuos de *Pinus cembroides* Zucc, en las zonas más elevadas.

B. Asociación *Juniperus angosturana* – *Pinus cembroides*

Esta asociación se registró en los sitios 6 y 8 de San Cristóbal, entre los 1985 y 2080 m.s.n.m., en pendientes de 10 al 30% y exposición noreste. *Juniperus angosturana* presentó el mayor VIR con 29%. El estrato arbóreo está compuesto por *P. cembroides*

(21%) *J. flaccida* (5%) y *Pinus pinceana* Gordon & Glend (4.6%), conformando un dosel cuya altura varía entre los dos y seis metros. Además de *J. angosturana*, el estrato arbustivo incluye *Ephedra compacta* Rose, *Rhus schiedeana* Schltdl y *Rhus standleyi* F.A. Barkley. Asimismo, se registraron especies como *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana* var. *salmiana*, *Chrysactinia mexicana*, *Coreopsis mutica* DC. var. *mutica*, *Cylindropuntia imbricata*, *Dalea greggii*, *Flourensia resinosa*, *Milla biflora*, *Opuntia rastrera*, *Opuntia tomentosa*, *Perymenium mendezii*, *Sanvitalia procumbens*, y *Zinnia peruviana* (L.) L. Este matorral se desarrolla sobre suelos pedregosos, con pH alcalino, de textura franco-arcillo-arenosa y con una elevada concentración de Ca y Fe.

C. Asociación *Juniperus angosturana* – *Nolina parviflora*

En esta asociación vegetal *J. angosturana* es la especie estructuralmente dominante, con un VIR del 57%. La acompañan especies como *P. cembroides*, *Nolina parviflora* (Kunth) Hemsl, *J. flaccida*, *Dasyllirion longissimum* Lem., *Agave salmiana* var. *salmiana*, *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto, *Ephedra compacta* y diversas especies del género *Opuntia*. El estrato arbustivo no supera los dos metros de altura y en el estrato arbóreo, los individuos más grandes llegan a medir hasta cinco metros. Esta asociación, se distribuye en La Florida, específicamente en los sitios 1, 2 y 7, en altitudes que van de los 1800 a los 2050 m.s.n.m., en laderas con exposición sureste y pendientes del 7% al 30%. Los suelos son poco desarrollados, cuentan con una delgada capa de hojarasca y fragmentos sueltos de roca; presentan bajo contenido de materia orgánica (8%) y un pH de entre 7 y 8, y son ricos en Ca y K. Otras especies registradas fueron: *Agave lechuguilla*, *Chrysactinia mexicana*, *Coreopsis mutica* var. *mutica*, *Cylindropuntia imbricata*, *Dahlia coccinea* Cav., *Dalea bicolor*, *Flourensia resinosa*, *Gochnatia hypoleuca* (DC.) A. Gray, *Lysiloma* sp., *Mammillaria* sp., *Milla biflora*,

Opuntia rastrera, *Opuntia tomentosa*, *Perymenium mendezii*, *Sanvitalia procumbens*, *Sclerocarpus uniserialis*, *Thymophylla setifolia* y *Zinnia peruviana*.

D. Asociación *Juniperus angosturana* – *Neltuma laevigata*

Esta asociación se registró únicamente en un sitio de muestreo de La Florida, a una altitud promedio de 2000 m.s.n.m., con una pendiente de 25% y exposición sureste. El suelo presenta una textura fina franco-arcillosa, y una alcalinidad ligera. Según los VIR *J. angosturana* es la especie dominante en el estrato arbustivo, con valor de 36 % y alturas inferiores a los tres metros. En el estrato arbóreo, con un dosel de entre dos y seis metros de altura, destacaron las especies *Neltuma laevigata* (Humb. y Bonpl. ex Willd.) Britton y Rose y *Acacia berlandieri* Benth., con un VIR conjunto del 25%. Asimismo, se registraron otras especies como *Cylindropuntia imbricata*, *Cylindropuntia leptocaulis* (DC.) F.M. Knuth, *Milla biflora*, *Opuntia tomentosa*, *Jatropha dioica* Sessé ex Cerv., *Sclerocarpus uniserialis* (Hook.) Benth. & Hook. f. ex Hemsl., *Senna holwayana* (Rose) I. et Barneby, *Uncaria tomentosa* (Willd. ex Schult.) DC., y *Yucca filifera* Chaba.

Con base en los resultados obtenidos, las especies de mayor importancia ecológica en las asociaciones, además de *J. angosturana*, son *P. cembroides*, *J. flaccida*, *Acacia berlandieri*, *Neltuma laevigata* y *Nolina parviflora* las cuales presentaron los valores de importancia relativa más altos en las localidades muestreadas. La dominancia de *J. angosturana*, se atribuye principalmente a su mayor diámetro de copa, más que a su altura, en comparación con las demás especies representativas. La asociación más observada fue la de piñón-enebro, seguida de enebro-enebro, conformadas por *Juniperus angosturana* *Pinus cembroides* y *Juniperus flaccida*. Ambas asociaciones vegetales presentan acompañamiento de especies típicas de matorral xerófilo.

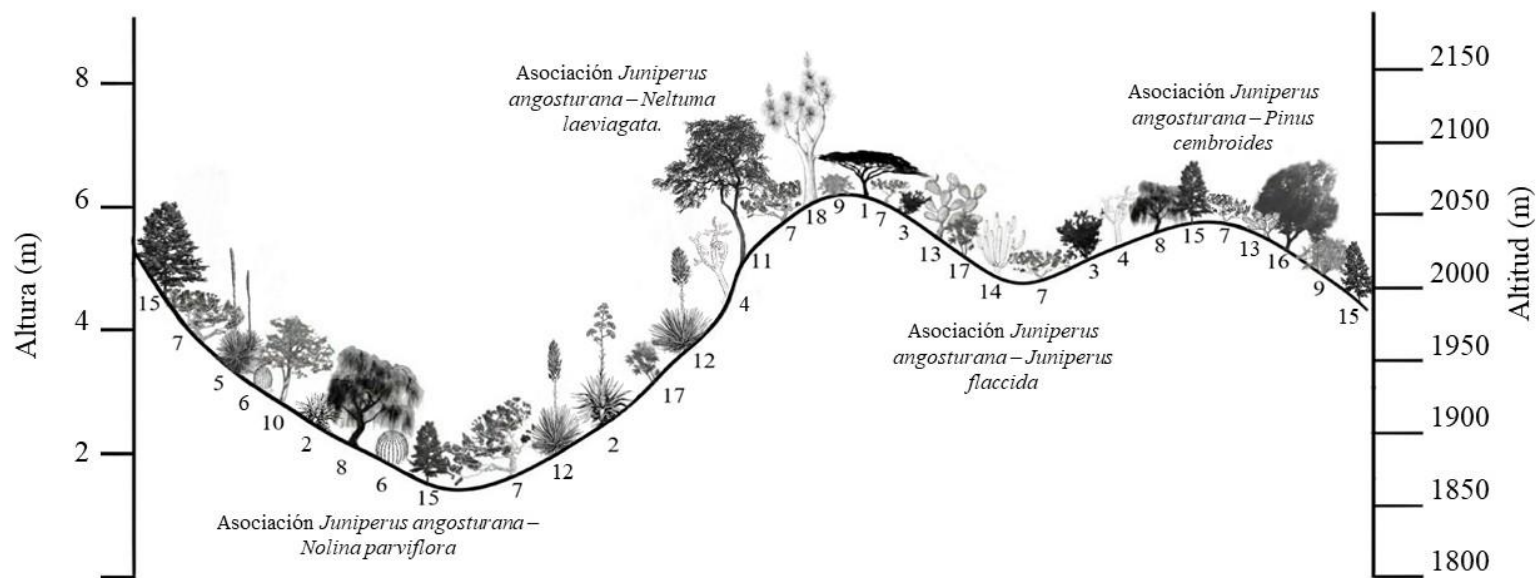


Figura 7. Perfil fisonómico de las asociaciones vegetales donde se desarrolla *Juniperus angosturana* en las localidades La Florida y San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo. 1. *Acacia berlandieri*; 2. *Agave salmiana*; 3. *Berberis pallida*; 4. *Cylindropuntia imbricata*; 5. *Dasyliirion longissimum*; 6. *Echinocactus platyacanthus*; 7. *Juniperus angosturana*; 8. *Juniperus flaccida*; 9. *Malacomeles denticulata*; 10. *Lysiloma* sp.; 11. *Neltuma laevigata*; 12. *Nolina parviflora*; 13. *Opuntia* sp.; 14. *Echinocactus platyacanthus*; 15. *Pinus cembroides*; 16. *Pinus pinceana*; 17. *Rhus* sp.; 18. *Yucca filifera*.

Ordenación

La diferenciación estructural de las asociaciones vegetales dominadas por *Juniperus angosturana* responde a un origen multifactorial, correlacionándose principalmente con las variables edáficas. De acuerdo con el ACC, esta variación es explicada en un 67.13% por los tres primeros ejes (Tabla 1 y Tabla 2). Las variables edáficas más influyentes son la textura del suelo —en especial los porcentajes de arena y limo—, las concentraciones de Ca, K y P, así como el pH del suelo (Gráfica 1).

Tabla 1. Resultados de los primeros tres ejes de ordenación, de acuerdo con el análisis de Correspondencias Canónicas (ACC).

Variable	Eje 1	Eje 2	Eje 3
pH	-0.172893	0.36276	0.658303
MO (%)	-0.202071	-0.429806	-0.215268
N inorg.	-0.199503	-0.173747	0.0472623
P	-0.0753286	-0.282118	-0.700757
K	-0.218424	-0.638471	-0.248518
Ca	-0.339255	0.552029	-0.00914643
Fe	-0.377003	0.110919	-0.443264
arena (%)	-0.766368	-0.357859	0.0899592
limo (%)	0.526614	0.338468	0.363971
arcilla (%)	0.381808	0.105922	-0.377697
Pendiente	0.20969	-0.463599	0.177899
Exposición	0.18856	0.0252954	-0.295587
Altitud	-0.174418	0.0991923	-0.140028

Distribución de la varianza

Valor propio	0.52113	0.36389	0.3184
Varianza (%)	29.07	20.3	17.76
Varianza acumulada (%)	29.07	49.37	67.13

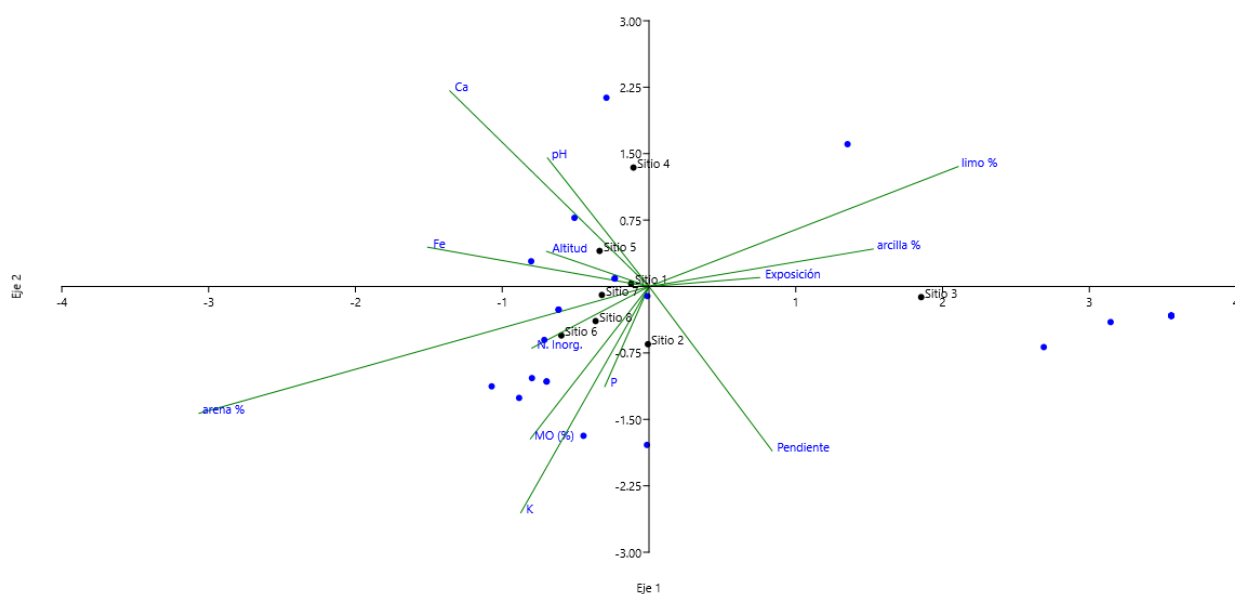


Figura 8. Triplot del Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) de los ocho sitios muestreados en las localidades La Florida y San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo.

Tabla 2. Matriz de correlación entre las variables ambientales y edáficas de los sitios de muestreo en Cardonal, Hidalgo.

	pH	MO (%)	N (Inorg)	P	K	Ca	Fe	arena %	limo %	arcilla %	Pendiente	Exposición
pH												
MO (%)	-0.06											
N (Ing)	-0.26	-0.56										
P	-0.43	0.75	-0.55									
K	-0.67	0.56	0.11	0.42								
Ca	-0.09	-0.06	-0.12	-0.09	0.21							
Fe	-0.17	0.57	-0.12	0.39	0.48	0.47						
arena %	-0.23	0.30	0.27	0.16	0.63	0.31	0.21					
limo %	-0.01	-0.69	0.37	-0.77	-0.22	0.25	-0.24	-0.42				
arcilla %	0.24	0.24	-0.56	0.44	-0.48	-0.51	-0.04	-0.71	-0.34			
Pendiente	-0.04	-0.07	0.04	0.11	-0.14	-0.71	-0.77	0.08	-0.29	0.13		
Exposición	-0.53	-0.58	0.22	-0.08	0.01	0.17	-0.40	-0.09	0.31	-0.15	0.08	
Altitud	0.36	0.37	-0.77	0.52	-0.30	-0.08	-0.07	-0.12	-0.65	0.63	0.16	-0.02

Discusión

Juniperus angosturana es una especie endémica de México, cuya distribución se extiende desde Coahuila hasta Hidalgo. A pesar de su relevancia estructural en las zonas áridas del país, ha sido escasamente estudiada desde de una perspectiva ecológica. La mayoría de los trabajos publicados se han centrado en análisis filogenéticos (Adams, 1994; Adams y Schwarzbach, 2013; Uckele et al., 2021), en descripciones morfológicas y de distribución geográfica (Estrada-Castillón et al., 2014; Farjon, 2019; González-Elizondo et al., 2012), así como en modelos de distribución potencial o modelados de panbiología (Cartereau, et al., 2023; Morales-Garduño et al., 2021; Trájer, 2023). En cuanto al hábitat de *J. angosturana* y las comunidades vegetales de las que forman parte, Estrada-Castillón et al. (2015) asocian la especie con ecotonos entre pastizales halófitos y bosques de pino piñonero en la región centro-sur de Nuevo León y el norte de Tamaulipas. De manera similar, Salinas-Rodríguez et al. (2013) reporta su presencia en el ecotono entre chaparrales de encino (*Quercus* spp.) y bosques de *Pinus cembroides* en el cañón de Iturbide, Nuevo León.

En este mismo sentido, en Hidalgo se desarrolla *J. angosturana*, principalmente en la zona de transición entre el bosque de pino piñonero y el matorral rosetófilo. Lo anterior sugiere que *J. angosturana* es una especie ecotonal, que encuentra ventajas competitivas en los límites de la distribución de las asociaciones vegetales circundantes, es decir, en los márgenes de tolerancia física y competitiva de otras especies (Ortiz-Colín y Hulshof, 2024). Su relevancia estructural disminuye conforme se adentra en ecosistemas más homogéneos; sin embargo, se registraron matorrales dominados por *J. angosturana*, lo que indica una amplia tolerancia ecológica, tanto en términos edáficos como de humedad, temperatura, y exposición solar. Esto refuerza su papel como especie clave en zonas de transición y como posible estabilizador ecológico en ambientes semiáridos. Los matorrales dominados por *J. angosturana* forman un hábitat heterogéneo, que incluye microhábitats favorables bajo el dosel de los individuos, gracias a su amplia ramificación y extensión de copa. Esta estructura proporciona protección de la radiación solar y facilita la retención de suelo y humedad, lo cual beneficia a numerosas especies asociadas. No obstante, debido a los grandes volúmenes de enraizamiento de los arbustos, los espacios intermedios entre individuos suelen presentar escasa vegetación (Chambers et al., 1999; Rostamikia et al., 2024). Dicha configuración espacial da lugar a un mosaico ecológico conocido como islas de fertilidad o islas de recursos, que son esenciales para el mantenimiento de la biodiversidad en los ecosistemas áridos y semiáridos (Magaña et al., 2023).

En el Valle del Mezquital, la asociación más frecuente con presencia de *Juniperus angosturana* se presentó en los bosques de piñón-enebro, lo que evidencia una clara coocurrencia con *P. cembroides*. No obstante, es necesario intensificar los estudios para confirmar si este patrón se mantiene en otras regiones. Romme et al. (2009), mencionan

la existencia de tres variantes para esta asociación: bosques persistentes de piñón-enebro, matorrales boscosos de piñón-enebro y sabanas de piñón-enebro, de los cuales solo los primeros dos fueron registrados en el Valle del Mezquital, lo cual indica una alta diversidad estructural y ecológica.

En México, la asociación piñón-enebro se ha reportado en zonas de transición en regiones semiáridas. A pesar de su similitud estructural, existe una clara diferenciación florística regional, y solo se había documentado la presencia de *J. angosturana* en Nuevo León y ahora se reporta también en Hidalgo. Por ejemplo, Parra-Álvarez et al. (2022) identificaron, en la región central de San Luis Potosí, una asociación integrada por cinco especies de pinos piñoneros y *Juniperus flaccida*. De forma similar, Granados-Victorino et al. (2015) reportaron esta asociación en la zona árida poblano-veracruzana, donde *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D.K. Bailey coodomina con *J. flaccida* o *Juniperus deppeana* Steud. Y de la Fuente Solís et al. (2025) describen un bosque caracterizado por una asociación de *Pinus cembroides* y *Juniperus monosperma* (Engelm.) Sarg. en Galeana, Nuevo León.

Baker y Shinneman (2004), señalan que estos bosques están aumentando en densidad y expandiéndose hacia los matorrales y pastizales adyacentes, los cuales frecuentemente se consideran ecosistemas en proceso de degradación. Se ha documentado que la remoción de individuos de *Pinus* o *Juniperus* puede favorecer el incremento de cobertura de gramíneas (Almalki et al., 2023), lo que representa un beneficio potencial para la ganadería. Sin embargo, esta práctica tiene efectos negativos en la biodiversidad, ya que los árboles y arbustos de las zonas áridas y semiáridas proporcionan sitios seguros de germinación, así como refugio y hábitat para numerosas especies (Allegrezza et al., 2016).

Por medio del ACC, se determinó que la textura del suelo, en particular los porcentajes de arena y limo, constituye uno de los principales factores que explican la diferenciación estructural entre la vegetación de los sitios analizados. La proporción relativa de arena, limo y arcilla influye directamente en la fertilidad del suelo, pues regula la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Los suelos con textura arenoso-limosa, al presentar baja capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico, favorecen el desarrollo de especies adaptadas a ambientes con pulsos breves de humedad (Rostamikia et al., 2024). Por lo tanto, el gradiente de textura puede inducir un recambio en la composición vegetal, al reflejar la capacidad diferencial de las especies para tolerar condiciones edáficas restrictivas.

Las variaciones en la textura podrían deberse a la erosión eólica e hídrica provocadas por las diferencias en la exposición, la pendiente y la abundancia de las especies vegetales (Shukla et al., 2006). Por ejemplo, en el desierto chihuahuense, las diferencias estructurales en las asociaciones vegetales se presentan debido a los ligeros cambios en la orografía, la elevación, el ángulo de la pendiente, la rocosidad y las variables edáficas en la distribución de las plantas en ambientes áridos (Granados-Sánchez et al., 2011; Estrada-Castillón, et al., 2015).

En el Valle del Mezquital, las asociaciones vegetales dominadas por especies del género *Juniperus*, como los bosques de táscates y los matorrales submontanos de *Juniperus angosturana*, se desarrollan sobre suelos de origen calcáreo, con pH alcalino y altos contenidos de Fe, características típicas de zonas áridas donde la escasez de agua limita los procesos de lixiviación, además de generar la formación de costras de carbonatos o de yesos (Hag Husein et al., 2021). Diversas especies del género *Juniperus* han sido reconocidas por su notable capacidad de adaptación a suelos pobres en nutrientes, poco

profundos y con baja retención de humedad. Además, presentan una respuesta eficiente ante cambios ambientales, así como una alta tolerancia al fuego y a perturbaciones de origen antrópico (Rosas-Chavoya et al., 2016; Cuevas-Guzmán et al., 2023).

Lo anterior sugiere que las comunidades vegetales donde se desarrolla la asociación de *Juniperus angosturana*-*Pinus cembroides* se presentan en suelos poco profundos con alto contenido de arena, pH ligeramente alcalino y alta concentración de Ca y K e influenciadas por componentes como la pendiente. De forma general la presencia de *J. angosturana* está influenciada por la textura del suelo, principalmente los porcentajes de arena y limo, las concentraciones de Ca, K, Fe y P, así como el pH alcalino y en menor medida la pendiente del terreno.

Este estudio constituye una contribución significativa al conocimiento ecológico de *Juniperus angosturana*, al centrarse en la caracterización de su hábitat y en las asociaciones vegetales que conforma. Nuestros resultados confirman que *J. angosturana* es una especie ecotonal, cuya plasticidad ambiental le permite establecerse y adaptarse a condiciones edáficas y climáticas variables en zonas de transición entre bosques de pino piñonero y matorral rosetófilo. La presencia de *J. angosturana* en Hidalgo, fuera de su distribución previamente conocida, amplía el conocimiento sobre su rango ecológico y florístico, y subraya la necesidad de llevar a cabo más estudios regionales.

Además, su hábito de crecimiento y cobertura favorece la generación de islas de fertilidad, promueve la biodiversidad y contribuye a la conectividad del paisaje, al conformar corredores biológicos que facilitan el flujo de especies entre ecosistemas fragmentados. La identificación de su preferencia por suelos de textura arenoso-limosa y origen calcáreo, así como de su coocurrencia con *P. cembroides* en el Valle del Mezquital, aporta elementos clave para comprender la dinámica y la diferenciación

florística de los ecosistemas áridos y semiáridos donde se desarrolla *Juniperus angosturana*.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Chapingo, en particular a la Dirección General de Investigación y Posgrado y a la División de Ciencias Forestales, por las facilidades y el apoyo institucional brindados para la realización de esta investigación; al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de posgrado número 4008144 otorgada a la primera autora durante el desarrollo de estos estudios. A los compañeros, Diego Carrillo Martínez, Ruth del Cid, así como al técnico Rubén Herrera Flores por su apoyo en los muestreos de campo, y a la M.C. Ana Rosa López por su apoyo en la identificación taxonómica de algunos ejemplares en el Herbario UAMIZ. Finalmente, se agradecen las valiosas sugerencias y observaciones de los revisores, que contribuyeron significativamente a mejorar el contenido de este escrito.

Referencias

- Adams, R. P. (1994). Geographic variation and systematics of monospermous *Juniperus* (Cupressaceae) from the Chihuahua desert based on RAPD's and terpenes. *Biochemical Systematics Ecology*, 22(7), 699-710.
<http://www.juniperus.org/uploads/2/2/6/3/22639912/124-1994bse22699.pdf>
- Adams, R. P., y Schwarzbach, A. E. (2013). Taxonomy of the serrate leaf *Juniperus* of North America: phylogenetic analyses using nrDNA and four cpDNA regions. *Phytologia*, 95(2), 172-178.
<http://www.juniperus.org/uploads/2/2/6/3/22639912/303.pdf>

- Alanis-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., y Marroquín de la Fuente, J. (2020). Muestreo ecológico de la vegetación. Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Allegrezza, M., Corti, G., Cocco, S., Pesaresi, S., Chirico, G. B., Saracino, A., y Bonanomi, G. (2016). Microclimate buffering and fertility island formation during *Juniperus communis* ontogenesis modulate competition-facilitation balance. *Journal of Vegetation Science*, 27(3), 616-627.
<https://doi.org/10.1111/jvs.12386>
- Almalki, Y. M., Fernald, A. G., Ochoa, C. G., Cibils, A. F., Faist, A. M., Cram, D. S., y Steiner, R. L. (2023). Understory vegetation response to thinning pinyon-juniper woodlands. *Rangeland Ecology & Management*, 88, 152-158.
<https://doi.org/10.1016/j.rama.2023.02.012>
- Baker, W. L., y Shinneman, D. J. (2004). Fire and restoration of piñon-juniper woodlands in the western United States. *Forest Ecology and Management*, 189(1-3), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.09.006>
- Cartereau, M., Leriche, A., Médail, F., y Baumel, A. (2023). Tree biodiversity of warm drylands is likely to decline in a drier world. *Global Change Biology*, 29(13), 3707-3722. <https://doi.org/10.1111/gcb.16722>
- Chambers, J.C., Vander Wall, S. B., y Schupp, E.W. (1999). Ecología de semillas y plántulas de especies de piñón y enebro en los bosques pigmeos del oeste de Norteamérica. *Botanical Review*, 65, 1-38. <https://doi.org/10.1007/BF02856556>
- Cuevas-Guzmán, R., Canales-Piña, S., Sánchez-Rodríguez, E.V., Morales-Arias, J., Guzmán-Hernández, L., y Núñez-López, N. M. (2023). Atributos estructurales y

- hábitat de *Juniperus jaliscana* en Talpa de Allende, Jalisco, México. *Botanical Sciences*, 101(3), 670-684. <https://doi.org/10.17129/botsci.3235>
- EncicloVida. (s. f.). Enebro chino. EncicloVida. Recuperado el 16 de abril de 2024, de <https://enciclovida.mx/especies/155214>
- Estrada-Castillón E., Arévalo, J. R., Villareal-Quintanilla, J. Á., Salinas-Rodríguez, M. M., Cantú-Ayala, C. M., González-Rodríguez, H., Jiménez-Pérez, J. (2014). Coníferas de Nuevo León, México. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León. https://www.researchgate.net/publication/275276634_Coniferas_de_Nuevo_Leon_Mexico
- Estrada-Castillón E., Arévalo, J. R., Villareal-Quintanilla, J. Á., Salinas-Rodríguez, M. M., Encina-Domínguez, J. A., González-Rodríguez, H., y Cantú-Ayala, C. M. (2015). Classification and ordination of main plant communities along an altitudinal gradient in the arid and temperate climates of northeastern Mexico. *The Science of Nature*, 102, 9-10. <https://doi.org/10.1007/s00114-015-1306-3>
- Farjon, A. (2019). *Juniperus angosturana*. Threatened Conifers of the World. <https://threatenedconifers.rbge.org.uk/conifers/juniperus-angosturana>
- Fonseca, R. M. (2006). *Juniperus*, la ginebra, el incienso, los lápices y los repelentes. *Ciencias*, (81), 44-47. <https://www.revistacienciasunam.com/en/54-revistas/revista-ciencias-81/346-juniperus.html>
- Fuente Solís, A. M. de la, Alanís Rodríguez, E., Yáñez Díaz, M. I., Córdova Silva, I., Himmelsbach, W., y Martínez del Campo Delgado, Á. M. (2025). Analysis of the natural regeneration of a temperate arid forest in northeastern Mexico. *Revista*

Forestal Mesoamericana Kurú, 22(50), 1-10.

<https://doi.org/10.18845/rfmk.v22i50.7755>

GBIF Secretariat. (2023). *Juniperus angosturana* R. P. Adams. GBIF Backbone

Taxonomy. Recuperado el 16 de abril de 2024, de

<https://doi.org/10.15468/39omei>

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-

González, L., y López-Enríquez, I. (2012). Vegetación de la Sierra Madre

Occidental, México: una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, (100), 351-403.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-

[71512012000300012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512012000300012&lng=es&tlng=es)

González-Medrano, F. (2004). Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la

unificación de la Clasificación y nomenclatura de la vegetación de México, 2ª ed.

Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México, 81p.

https://www.academia.edu/16702033/Vegetacion_de_mexico_gonzalez

González-Medrano, F. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación.

México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y

Recurso Naturales.

http://140.84.163.2:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/218/668_2012_Z

[onas_aridas_semiaridas_Mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://140.84.163.2:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/218/668_2012_Zonas_aridas_semiaridas_Mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados-Victorino, R. L. y Borja de la

Rosa, Amparo. (2011). Ecología de la vegetación del desierto chihuahuense.

Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 17, 111-130.

<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.102>

Granados-Victorino, R. L., Granados-Sánchez, D., y Sánchez-González, A. (2015).

Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la cuenca oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). *Madera y Bosques*. 21(2), 23-42.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000200002&lng=es&tlng=es

Guzmán-Cornejo, L., Sánchez Morales, A., y Pacheco, L. (2015). Helechos y licofitas del municipio de Cardonal, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(3), 573-581. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.06.004>

Hag Husein, H., Lucke, B., Bäuml, R., y Sahwan, W.A. (2021). Contribution to soil fertility assessment for arid and semi-arid lands. *Soil Systems*, 5(3), 1-13.

<https://doi.org/10.3390/soilsystems5030042>

Hammer, O., Harper, D., y Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontología Electrónica*, 4(1), 1-9.

https://www.researchgate.net/publication/259640226_PAST_Paleontological_Statistics_Software_Package_for_Education_and_Data_Analysis

Hernández-Armas, C. (2016). Otomíes del Valle del Mezquital: retos ante la preservación o la transformación de una cultura. *Divulgare. Boletín Científico de la Escuela Superior de Actopan*, 3(5). <https://doi.org/10.29057/esa.v3i5.1645>

Hernández-González, D. E., Muñoz Iniestra, D. J., López Galindo, F., y Hernández Moreno, M. M. (2018). Impacto del uso de la tierra en la calidad del suelo en una zona semiárida del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*, 11(41-42), 792-807.

<https://doi.org/10.22201/fesi.20072082.2018.11.65833>

- Herrerías, M. L. G., y Nieto, P. P. (2020). Características estructurales y demográficas de *Juniperus deppeana* Steud. en 2 localidades del estado de Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61), 124-151.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.618>
- Natusfera. (s. f.). Enebro chino (*Juniperus angosturana*). Natusfera. Recuperado el 16 de abril de 2024, de <https://spain.inaturalist.org/taxa/135936-Juniperus-angosturana>
- Magaña Ugarte, R., Gavilan, R. G., y Rubio, A. (2023). Assessing the occurrence of soil improvement and its relationship to the dominant life form in the high mountains of Central Spain. *Geoderma Regional*, 36, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00744>
- Miwa, C. T., y Reuter, R. J. (2010). Persistence of western juniper (*Juniperus occidentalis*) resource islands following canopy removal. *Northwest Science*, 84(4), 361-368. <https://doi.org/10.3955/046.084.0405>
- Morales-Garduño, L., Solano, E., Villaseñor, J. L., y Montaña-Arias, G. (2021). Panbiogeografía de los matorrales de la región xerofítica mexicana. *Botanical Sciences*, 99(3), 611-627. <https://doi.org/10.17129/botsci.2773>
- Ortiz-Colín, P. y Hulshof, C. (2024). Ecotones as windows into organismal-to-biome scale responses across neotropical forests. *Plants*, 13(17), 2396.
<https://doi.org/10.3390/plants13172396>
- Parra-Álvarez, J., Granados-Sánchez, D., Granados-Victorino, R. L., y Villanueva-Morales, A. (2022). Caracterización estructural y clasificación de los bosques piñoneros de San Luis Potosí, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 29(1), 61-98.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.03.021>

- Pérez-Aguilar, L. Y., Plata Rocha, W., Monjardín Armenta, S. A., Franco Ochoa, C., y Zambrano Medina, Y. G. (2021). The identification and classification of arid zones through multicriteria evaluation and geographic information systems - case study: arid regions of northwest Mexico. ISPRS. *International Journal of Geo-information*, 10(11), 720. <https://doi.org/10.3390/ijgi10110720>
- Portal de Geoinformación. (2023). Carta fisonómica-estructural de la vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
Recuperado el 27 de enero de 2025, de
http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/otras/vpotbt4mgw
- Richards, P. (1952). *The tropical rain forest an ecological study*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Romme, W. H., Allen, C. D., Bailey, J. D., Baker, W. L., Bestelmeyer, B. T., Brown, P. M., Eisenhart, K. S., Floyd, M. L., Huffman, D. W., Jacobs, B. F., Miller, R. F., Muldavin, E. H., Swetnam, T. W., Tausch, R. J. y Weisberg, P. J. (2009). Historical and modern disturbance regimes, stand structures, and landscape dynamics in piñon-juniper vegetation of the western United States. *Rangeland Ecology and Management*, 62, 203-222. <https://doi.org/10.2111/08-188R1>
- Romo, A., Salvá, C. M., Ouhammou, A., y Boratyński, A. (2012). Las formaciones de Sabina albar (*Juniperus thurifera* subsp. *africana*) en los macizos de Toubkal y Azourki del gran Atlas (Marruecos). Las zonas de montaña: gestión y biodiversidad. En *VII Congreso Español de Biogeografía* (pp. 379-383).
https://digital.csic.es/bitstream/10261/64701/1/formaciones_sabina_albar.pdf

- Rosas-Chavoya, M., Granados-Sánchez, D., Granados-Victorino, R. L., y Esparza-Govea, S. (2016). Clasificación y ordenación de bosques de pino piñonero del estado de Querétaro. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 52-73.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000100052&lng=es&tlng=es
- Rostamikia, Y., Matinizadeh, M., y Anbaran S. M. (2024). Influence of scattered greek juniper trees on soil properties in semi-arid woodlands in the northwest of Iran. *Journal of Forest Science*, 70(11), 560-573. <https://doi.org/10.17221/60/2024-jfs>
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/vegetaciondeMexico>
- Salinas-Rodríguez, M. M., Estrada Castellón, E., y Villarreal Quintanilla, J. Á. (2013). Flora and phytogeography of the Cañón de Iturbide, Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 7(2), 803-819.
<http://www.jstor.org/stable/24621165>
- Shukla, M. K., Lal, R., Ebinger, M., y Meyer, C. (2006). Physical and chemical properties of soils under some piñon-juniper-oak canopies in a semi-arid ecosystem in New Mexico. *Journal of Arid Environments*, 66(4), 673-685.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.12.002>
- Trájer, A. J. (2023). Clarification of the Lopingian palaeoclimatic conditions of the northwestern coastal regions of Palaeotethys based on the transdanubian geological record. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 316, 104917.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.104917>

- Uckele, K. A., Adams, R. P., Schwarzbach, A. E., y 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. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.107022>
- Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Gómez-Guerrero, A., Cerano-Paredes, J., Aguirre-González, N. A., y Franco-Ramos, O. (2016). Potencial dendrocronológico de *Juniperus monticola* Martínez en el monte Tláloc, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(2), 175-185.
- http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000200175&lng=es&tlng=es

CAPITULO IV. CONCLUSIONES GENERALES

Este estudio contribuyó a la identificación de tipos de vegetación y asociaciones vegetales dominadas por *Juniperus angosturana* y cuya estructura vegetal esta correlacionada con factores edáficos como la textura del suelo, concentraciones de calcio, potasio y fosforo y pH. Además de proporcionar un listado florístico conformado por 97 especies pertenecientes a 81 géneros y 41 familias (Apéndice 4), presentes dentro de estas comunidades. Esta información generada puede ser considerada como base para futuros estudios de manejo y conservación de la zona.

Asimismo, se observó la asociación de *J. angosturana* con otra especie del mismo género y con especies de *Pinus*, evidenciando una fuerte relación entre estas, y resaltando una asociación más con especies típicas de matorral como *Neltuma laeviagata* y *Nolina parviflora*. Se logró determinar que la dominancia de *J. angosturana* se debe a su hábito de crecimiento arbustivo el cual, gracias a su intensa ramificación, le permite alcanzar una amplia cobertura. Dicha característica podría influir en que la especie actúe como “isla de recursos”, fenómeno asociado a la retención de suelo que se genera debajo de la copa de los árboles o arbustos, que favorece en gran medida el desarrollo de otras especies, en este caso musgos y herbáceas.

Dicho proceso ecológico se considera de importancia para la conservación de la vegetación en zonas áridas y semiáridas, ya que es un proceso que puede contribuir a la estabilidad edáfica y a la preservación de la biodiversidad. Sin embargo, se considera necesaria la realización de más estudios de la especie en la zona para determinar cómo puede estar actuando *J. angosturana* en el fenómeno de formación de islas de recursos.

Por último, se considera necesario incluir la parte social para complementar el presente estudio mediante información generada por los pobladores de la zona, para determinar si existe algún tipo de aprovechamiento de la vegetación y, particularmente, si la especie *J. angosturana* tiene algún valor dentro de las comunidades, para establecer mejores propuestas de conservación y aprovechamiento.

APÉNDICES

Apéndice 1. Variables calculadas a partir de los datos en campo con la ecuación que le corresponde.

Variable	Ecuación	Donde:
Abundancia relativa	$AR_i = \left(A_i / \sum A_i \right) * 100$	AR_i = Abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total A_i = numero de individuos de la especie i $\sum A_i$ = sumatoria del número de individuos de todas las especies
Dominancia relativa	$DR_i = \left(D_i / \sum D_i \right) * 100$	DR_i = dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total D_i = dominancia absoluta de individuos de la especie $\sum D_i$ = es la sumatoria de la dominancia de individuos de todas las especies
Frecuencia relativa	$FR_i = \left(F_i / \sum F_i \right) * 100$	FR_i = frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total F_i = al número de sitios en el que está presente la especie $\sum F_i$ = Es la sumatoria del número de sitios en el que están presentes todas las especies
Índice de valor de importancia relativa	$VIR = \frac{A_i + D_i + F_i}{2}$	VIR = Índice de Valor de Importancia relativa AR_i = Abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total DR_i = dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total FR_i = frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total

Apéndice 2. Propiedades fisicoquímicas de suelos de los sitios de muestreo en las localidades La Florida y San Cristóbal, Cardonal, Hidalgo.

Sitio	pH	MO %	N -----	P -----	K mg/kg ⁻¹	Ca -----	Fe -----	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
1	7.89	2.28	53	2.14	608	13594	3.68	55.6	33.3	11.1	FRANCO-ARENOSO
2	8.15	19.83	21	4.88	654	9572	2.3	57.3	19.3	23.4	FRANCO-ARCILLO-ARENOSO
3	7.81	5.91	19.3	6.79	588	9788	2.84	33.3	29.3	37.4	FRANCO-ARCILLOSO
4	8.06	6.01	17.5	5.53	426	20976	13.67	50.2	25.3	24.5	FRANCO-ARCILLO-ARENOSO
5	8.11	8.71	21	6.19	194	10624	2.95	43.3	15.3	41.4	ARCILLA
6	7.72	7.66	26	9.53	984	13539	7.99	69.3	9.3	21.4	FRANCO-ARCILLO-ARENOSO
7	7.87	6.8	21	5.99	968	21446	13.06	58.2	25.3	16.5	FRANCO-ARENOSO
8	7.91	9.48	28	7.95	908	11934	22.6	52.2	15.3	32.5	FRANCO-ARCILLO-ARENOSO

Apéndice 3. Diversidad de familias obtenidas a partir del listado florístico en los ocho sitios muestreados de las localidades La Florida y San Cristóbal, Cardonal, Hidalgo.

FAMILIA	GÉNEROS	ESPECIES
Aizoaceae	1	1
Amaranthaceae	1	2
Amaryllidaceae	1	1
Anacardiaceae	2	3
Apiaceae	1	1
Apocynaceae	1	1
Asparagaceae	6	7
Aspleniaceae	1	1
Asteraceae	10	10
Berberidaceae	1	1
Bignoniaceae	1	1
Brassicaceae	1	1
Bromeliaceae	1	4
Cactaceae	5	8
Celastraceae	1	1
Commelinaceae	2	4
Convolvulaceae	1	1
Cupressaceae	1	2
Ephedraceae	1	1
Euphorbiaceae	3	4
Fabaceae	6	8
Fagaceae	1	1
Iridaceae	1	1
Lamiaceae	1	1

Liliaceae	1	1
Martyniaceae	1	1
Nyctaginaceae	1	1
Orobanchaceae	1	1
Pinaceae	1	2
Plantaginaceae	1	1
Poaceae	9	9
Pteridaceae	1	1
Rhamnaceae	2	2
Rosaceae	3	3
Rubiaceae	1	1
Sapindaceae	1	1
Salicaceae	1	1
Scrophulariaceae	1	1
Solanaceae	1	1
Verbenaceae	3	3
Zygophyllaceae	1	1

Apéndice 4. Listado florístico de los tipos de vegetación con dominancia de *Juniperus angosturana*. Los números 1, 2, 3 y 7 corresponden a los sitios muestreados en la localidad La Florida y los números 4, 5, 6 8 a los sitios muestreados en la localidad San Cristóbal en Cardonal, Hidalgo.

FAMILIA	ESPECIE	SITIOS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Aizoaceae	<i>Sesuvium verrucosum</i> Raf.	0	1	0	0	0	0	0	0
Amaranthaceae	<i>Gomphrena decumbens</i> Jacq.	0	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Gomphrena serrata</i> L.	0	1	1	0	0	0	0	0
Amaryllidaceae	<i>Nothoscordum bivalve</i> (L.) Britton	0	0	1	0	0	0	1	0
Anacardiaceae	<i>Pistacia mexicana</i> Kunth	0	0	0	0	0	1	0	1
	<i>Rhus schiedeana</i> Schltdl	0	0	0	0	1	1	0	1
	<i>Rhus standleyi</i> F.A. Barkley	1	0	0	1	1	1	0	1
Apiaceae	<i>Eryngium carlinae</i> F. Delaroche	0	0	1	0	0	0	0	0
Apocynaceae	<i>Cynanchum barbigerum</i> (Scheele) Shinnars	0	0	0	0	0	1	0	1
Asparagaceae	<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	1	1	1	1	0	1	0	1
	<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck var. <i>salmiana</i>	1	0	0	1	1	1	1	1
	<i>Dasyllirion longissimum</i> Lem.	1	1	1	0	0	0	1	0
	<i>Echeandia</i> cf. <i>durangensis</i> (Greenm.) Cruden	1	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Milla biflora</i> Cav.	0	1	1	1	0	1	1	1
	<i>Nolina parviflora</i> (Kunth) Hemsl.	0	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Yucca filifera</i> Chabaud	0	1	1	0	0	0	0	0
Aspleniaceae	<i>Asplenium resiliens</i> Kunze	0	0	0	1	0	0	1	0
Asteraceae	<i>Chrysactinia mexicana</i> A. Gray	1	1	0	1	1	1	0	0
	<i>Coreopsis mutica</i> DC. var. <i>mutica</i>	0	1	1	0	0	1	0	0
	<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	0	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Flourensia resinosa</i> (T. S. Brand.) Blake	0	1	0	0	1	1	0	1
	<i>Gochnatia hypoleuca</i> (DC.) A. Gray	0	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Perymenium mendezii</i> DC.	1	0	0	0	1	1	1	1
	<i>Sanvitalia procumbens</i> Lam.	1	1	1	0	1	1	0	0
	<i>Sclerocarpus uniserialis</i> (Hook.) Benth. & Hook. f. ex Hemsl.	1	0	1	0	0	0	1	0
	<i>Thymophylla setifolia</i> Lag.	1	1	1	1	1	1	1	0
	<i>Zinnia peruviana</i> (L.) L.	1	1	1	0	0	1	1	1
Berberidaceae	<i>Berberis pallida</i> Hartw. ex Benth.	1	0	0	1	1	1	0	0
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Kunth	1	0	0	0	0	0	0	0
Brassicaceae	<i>Eruca sativa</i> (L.) Cav.	1	0	0	0	0	0	0	0

Bromeliaceae	<i>Tillandsia</i> sp. L.	0	0	1	1	0	1	0	1
	<i>Tillandsia albida</i> Mez & Purpus	0	0	1	1	0	0	0	0
	<i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.	1	1	1	1	0	0	1	1
	<i>Tillandsia usneoides</i> (L.) L.	1		1	0	0	0	0	1
Cactaceae	<i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) F.M. Knuth	1	0	1	1	1	1	0	0
	<i>Cylindropuntia leptocaulis</i> (DC.) F.M. Knuth	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto	1	1	0	1	0	0	1	0
	<i>Ferocactus latispinus</i> (Haw.) Britton & Rose	1	0	1	0	1	1	1	1
	<i>Mammillaria</i> sp.	1	0	1	1	0	1	1	1
	<i>Opuntia rastrera</i> F. A. C. Weber	1	0	0	1	1	1	1	1
	<i>Opuntia robusta</i> H.L. Wendl. ex Pfeiff.	0	0	0	1	0	1	0	1
	<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck	0	1	1	1	0	1	0	0
	Celastraceae <i>Mortonia greggii</i> A. Gray	0	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Callisia navicularis</i> (Ortgies) D.R. Hunt	0	1	0	1	1	1	0	1
Commelinaceae	<i>Commelina coelestis</i> Willd.	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Commelina erecta</i> L.	1	0	0	0	0	0	1	0
Convolvulaceae	<i>Ipomoea stans</i> Cav.	0	0	0	1	1	0	0	0
Cupressaceae	<i>Juniperus angosturana</i> R. P. Adams	1	1	1	1	1	1	1	1
	<i>Juniperus flaccida</i> Schltdl.	1	1	1	1	1	1	1	1
Ephedraceae	<i>Ephedra compacta</i> Rose	0	1	0	1	1	1	0	1
Euphorbiaceae	<i>Acalypha hederacea</i> Torr.	0	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Acalypha monostachya</i> Cav.	1	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Euphorbia dentata</i> Michx.	1	0	1	1	1	0	1	0
	<i>Jatropha dioica</i> Sessé ex Cerv.	1	1	1	0	1	1	0	0
	<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	0	0	1	1	0	0	0	0
Fabaceae	<i>Calliandra eriophylla</i> Benth.	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Dalea bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	0	1	0	1	0	0	0	0
	<i>Dalea greggii</i> A. Gray	0	0	0	0	1	1	0	0
	<i>Mimosa biuncifera</i> Benth.	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Neltuma laevigata</i> (Humb. y Bonpl. ex Willd.) Britton y Rose	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Senna guatemalensis</i> var. <i>hidalgensis</i> H. S. Irwin & Barneby	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Senna holwayana</i> (Rose) I. et Barneby	0	0	1	0	0	0	0	0
	Fagaceae <i>Quercus</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	1

Iridaceae	<i>Sisyrinchium angustissimum</i> (B.L. Rob. & Greenm.) Greenm. & C.H. Thomps.	1	1	0	0	0	1	1	1
Lamiaceae	<i>Salvia coccinea</i> Buchoz ex Etl.	0	1	1	0	0	0	0	0
Liliaceae	<i>Calochortus ghiesbreghtii</i> S. Watson	1	1	1	1	0	0	1	1
Martyniaceae	<i>Proboscidea louisiana</i> (Mill.) Thell.	1	0	0	0	0	0	0	0
Nyctaginaceae	<i>Boerhavia erecta</i> L.	1	0	0	1	0	0	1	0
Orobanchaceae	<i>Castilleja tenuiflora</i> Benth.	0	0	0	1	0	0	0	0
Pinaceae	<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	1	1	0	1	1	1	1	1
	<i>Pinus pinceana</i> Gordon & Glend	1	0	0	0	0	0	0	1
Plantaginaceae	<i>Russelia coccinea</i> (L.) Wettst.	0	1	0	0	0	0	0	0
Poaceae	<i>Aristida purpurea</i> Nutt.	1	1	0	0	1	1	1	1
	<i>Bothriochloa edwardsiana</i> (Gould) Parodi	1	1	1	0	0	0	1	0
	<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	1	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Enneapogon desvauxii</i> P. Beauv.	0	1	0	1	0	0	1	0
	<i>Hopia obtusa</i> (Kunth) Zuloaga & Morrone	1	1	1	0	0	0	1	0
	<i>Panicum</i> sp.	1	1	0	0	0	0	1	0
	<i>Pseudoeriacoma constricta</i> (Hitchc.) Romasch.	0	0	0	1	1	0	0	0
	<i>Tragus berteronianus</i> Schott.	0	0	1	0	0	0	0	0
Pteridaceae	<i>Cheilanthes</i> sp.	0	0	0	1	0	0	0	0
Rhamnaceae	<i>Condalia mexicana</i> Schltldl.	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Karwinskia mollis</i> Schltldl.	0	1	0	0	0	0	0	0
Rosaceae	<i>Malacomeles denticulata</i> (Kunth) Decne.	0	0	0	0	1	1	0	1
	<i>Cercocarpus fothergilloides</i> Kunth	0	1	0	0	1	1	0	1
	<i>Lindleya meespiloides</i> Kunth	0	0	0	0	1	1	0	1
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schltldl.	0	1	1	1	1	1	0	1
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	0	0	0	1	0	0	0	0
Salicaceae	<i>Neopringlea integrifolia</i> (Hemsl.) S. Watson	0	1	0	0	0	0	0	0
Scrophulariaceae	<i>Buddleja cordata</i> Kunth	0	0	0	1	0	0	0	0
Solanaceae	<i>Solanum diphyllum</i> L.	0	0	1	0	0	0	0	0
Verbenaceae	<i>Bouchea prismatica</i> (L.) Kuntze	1	0	1	0	0	0	1	0
	<i>Citharexylum oleinum</i> (Benth. ex Lindl.) Moldenke	0	1	0	1	1	1	0	1
	<i>Lantana hispida</i> Kunth	0	0	1	0	0	0	0	0
Zygophyllaceae	<i>Kallstroemia rosei</i> Rydb.	1	0	0	0	0	0	1	0