



Distribución natural de *Taxodium huegelii* C. Lawson en el estado de Hidalgo

Taxodium huegelii C. Lawson natural distribution in the state of Hidalgo

Rafael Canales-Perez¹, Sergio Hernández-León^{1*}, Abraham Palacios-Romero², Adriana Hernández Lazcano¹, Rodrigo Rodríguez-Laguna¹, Alfonso Suárez-Islas¹, José González-Ávalos¹, Oscar Arce-Cervantes¹

Fecha de recepción/Reception date: 12 de octubre de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 16 de mayo del 2022

¹Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

²Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: sergio_hernandez@uaeh.edu.mx

*Corresponding author; e-mail: sergio_hernandez@uaeh.edu.mx

Resumen

Taxodium huegelii (sinónimo: *Taxodium mucronatum*) es un árbol que habita en bosques de galería; sus nombres comunes son ahuehuete, árbol de Tule, ciprés de Montezuma o sabino. El objetivo de esta investigación fue generar mapas de distribución actual y potencial para la especie en el estado de Hidalgo. Para elaborarlos se emplearon 56 registros, obtenidos de colectas en campo y una búsqueda en bases de datos. Los registros se analizaron previamente para evitar errores de procedencia y datos repetidos. El mapa de distribución documentada se generó con ArcGIS® versión 10.3 y el mapa de distribución potencial mediante Maxent versión 3.4.1. Las provincias biogeográficas Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino), Sierra Madre Oriental y el Golfo de México fueron las únicas que tuvieron registros de presencia, los cuales se localizaron en 23 de los 84 municipios de Hidalgo; sin embargo, de acuerdo con los resultados, existe 46 % de idoneidad para que la especie se distribuya en 63 municipios del estado. El modelo de distribución potencial es satisfactorio, ya que tiene una predicción de 92 %. La distribución de *T. huegelii* se favorece en zonas donde la temperatura mínima del mes más frío no es menor a 3 °C, y en lugares con un intervalo de precipitación de 100 a 500 mm. Los mapas de distribución real y potencial generados constituyen la base para futuras investigaciones sobre este taxon emblemático de México.

Palabras clave: Ahuehuete, árbol de Tule, distribución conocida, distribución potencial, vegetación riparia, *Taxodium mucronatum* Ten.

Abstract

Taxodium huegelii (synonym: *Taxodium mucronatum*) is a tree that inhabits gallery forests; its common names are ahuehuete, Tule tree, Montezuma cypress or sabino. The objective of this research was to generate current and potential distribution maps for the species in the state of Hidalgo. The 56 records, obtained from field collections and a database search were used to prepare them. Records were pre-analyzed to avoid provenance errors and repeated data. The documented distribution map was generated with ArcGIS® version 10.3 and the

potential distribution map with Maxent version 3.4.1. The biogeographic provinces (Zacatecan-Potosin) Southern Highlands, Eastern Sierra Madre, and the Gulf of Mexico were the only ones with records of presence, located in 23 of the 84 municipalities of *Hidalgo*; however, according to the results, there is 46 % suitability for the species to be distributed in 63 municipalities in the state. The potential distribution model is satisfactory, as it has a prediction of 92 %. The distribution of *T. huegelii* is favored in areas where the minimum temperature of the coldest month is not less than 3 °C, and in places with a precipitation range of 100 to 500 mm. The actual and potential distribution maps generated constitute the basis for future research on this emblematic taxon of Mexico.

Key words: *Ahuehuete*, Tule tree, known distribution, potential distribution, riparian vegetation, *Taxodium mucronatum* Ten.

Introducción

Taxodium huegelii C. Lawson es el nombre válido para la especie conocida como *Taxodium mucronatum* Ten., perteneciente a la familia Cupressaceae (Turland *et al.*, 2018; Tropicos, 2022). Entre sus nombres comunes se pueden citar: ahuehuete, árbol de Tule, ciprés de río, ciprés de Montezuma o sabino (Eckenwalder, 2009). La palabra ahuehuete procede del Náhuatl y significa “viejo del agua” (Villanueva *et al.*, 2010). Se distribuye en Guatemala, gran parte de México y el extremo sur de Texas, en los Estados Unidos de América (Martínez, 1963; Little, 1971; Carranza-González, 1992). Habita en bosques de galería o vegetación riparia (Villanueva *et al.*, 2010; Enríquez-Peña y Suzán-Azpiri, 2011).

Taxodium huegelii es el Árbol Nacional de México, elegido por votación popular efectuada en 1921 convocada por la Escuela Nacional Forestal (Luque, 1921; Martínez, 1963; Zanoni, 1982; Villanueva *et al.*, 2010), por lo que en 2021 se celebraron los 100 años de su elección.

El ahuehuete es una de las especies más interesantes del territorio nacional por su belleza escénica, corpulencia y longevidad de hasta 1 650 años (Villanueva *et al.*, 2003). En tiempos precolombinos fue considerado un árbol atrayente de la lluvia; además de tener diversos usos (Eckenwalder, 2009; Farjon, 2017), algunos asociados a sus propiedades medicinales (Cortés-Arroyo *et al.*, 2011; De la Cruz *et al.*, 2012; Luján-Hidalgo *et al.*, 2012). Los mexicas realizaron plantaciones en avenidas, jardines y plazas del Valle de México que perduran hasta la actualidad (Farjon, 2017).

En México, *T. huegelii* no está bajo amenaza, aunque en el estado de Texas aparece en un listado estatal de especies en peligro de extinción, mientras que para Guatemala, su estatus de conservación es desconocido (Farjon, 2017). Sin embargo, enfrenta numerosas amenazas, entre ellas el cambio de uso del suelo, la construcción de presas, contaminación de los mantos acuíferos, derivación de aguas para agricultura, enfermedades, incendios, incremento de la población, plagas y tala clandestina (Ceccon, 2003; Mora-Córdova, 2012; Martínez-Meyer *et al.*, 2014; Villanueva *et al.*, 2014; Badii *et al.*, 2015).

A pesar de su importancia, hasta el momento no existe información concreta sobre su distribución a escala local, y en el listado rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), faltan datos mapeados sobre la especie (IUCN, 2021). No obstante, si hay registros disponibles y georreferencias en herbarios y bases de datos en línea que pueden utilizarse para conocer los datos de su distribución y estimar su distribución potencial.

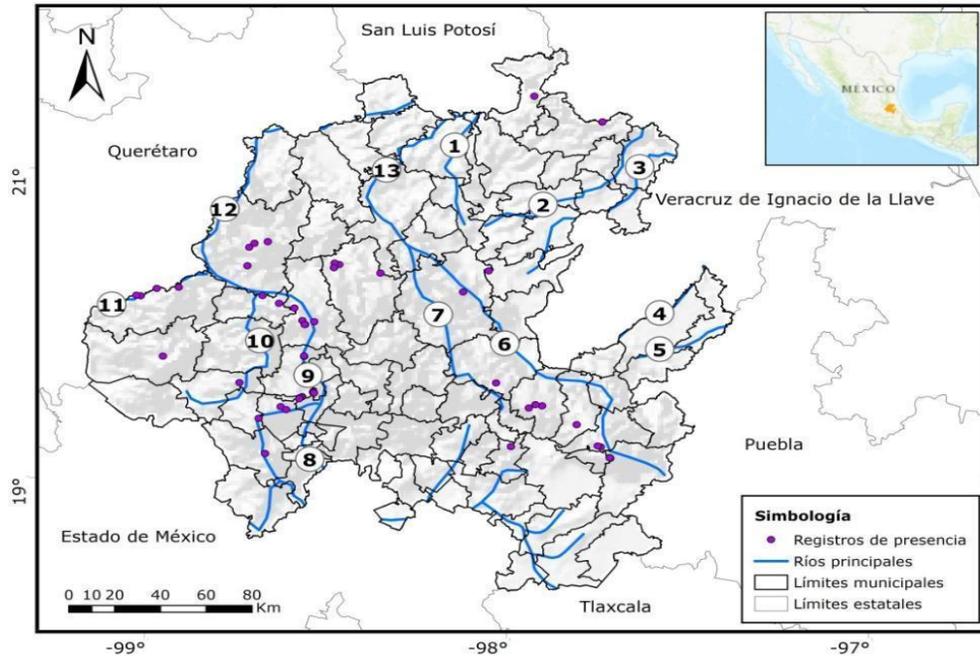
Identificar el lugar donde se encuentra una especie es muy importante para el desarrollo de futuras investigaciones. En este sentido, se tienen herramientas como el modelado de nicho ecológico que contribuyen a la protección de la biodiversidad,

considerado actualmente como el método más apropiado para evaluar la distribución potencial de las especies (Hutchinson, 1944; Guisan y Zimmermann, 2000; Guisan y Thuiller, 2005). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue generar mapas de distribución actual y potencial para *T. huegelii* en el estado de Hidalgo.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estado de Hidalgo se ubica en la zona centro de México y tiene una superficie de 20 905.12 km² (INEGI, 2016) (Figura 1). El relieve y el clima propician el desarrollo de ecosistemas tales como bosque de coníferas y encinos, bosque de galería, bosque mesófilo de montaña, matorral, pastizal, selva húmeda y selva seca (Inegi, 2017).



- 1.- Río Claro, 2.- Río Calnali, 3.- Río Calabozo 4.- Río Beltrán, 5.- Río Blanco, 6.- Río Venados (Río Grande de Tulancingo), 7.- Río Amajaque, 8.- Río Salado, 9.- Río Tula, 10.- Río Acayuca, 11.- Río San Juan, 12.- Río Moctezuma, 13.- Río Amajac.

Figura 1. Registros de *Taxodium huegelii* C. Lawson y ríos principales en el estado de Hidalgo.

Base de datos de presencia

Se documentaron registros de presencia para la especie a partir de colectas en campo y una búsqueda en herbarios de instituciones públicas, entre ellas: Facultad

de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (FC-UNAM); Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro (FCN-UAQ); Escuela de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (EB-BUAP); Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (IB-UNAM); el Departamento de Botánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional (ENCB-IPN) y el Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (ICAp-UAEH). También, se obtuvieron registros en línea (*The New York Botanical Garden; The United States National Herbarium; University of South Florida*), en bases de datos (SEInet), en la *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, 2020), *iNaturalist* (Ueda, 2017); Enciclovida (Conabio, 2020a); además de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB) (Conabio, 2020b).

Control de calidad de presencias

La depuración de datos se llevó a cabo por tipo de error, con base en los métodos propuestos por Cobos *et al.* (2018). La búsqueda en las bases de datos se realizó como *T. mucronatum* y *T. huegelii* para considerar el cambio del nombre científico. Se analizó la posible existencia de sinonimias, nombres diferentes o nombres antiguos.

Los registros de Naturalista se validaron analizando evidencia fotográfica y por verificación remota mediante *Google Earth Pro*, se corroboró que la altitud y las coordenadas geográficas registradas correspondieran con la descripción de la localidad.

Modelado de la distribución geográfica

Se obtuvieron las 19 variables bioclimáticas mensuales del algoritmo *BIOCLIM* (Busby, 1991) (Cuadro 1) de la base de datos de *WorldClim* versión 2.1 (Fick y Hijmans, 2017), que representan información del periodo del año 1970 al 2000, basadas en la precipitación y temperatura mínima y máxima. También se usó la variable topográfica de elevación, proveniente de la *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* (Farr *et al.*, 2007). Las capas anteriores tienen formato digital *Grid* genérico, conformadas por píxeles con resolución espacial de 30 segundos (equivalente a $\sim 1 \text{ km}^2$). Las capas se recortaron y estandarizaron al límite del estado y se convirtieron en formato *ASCII Grid*, con el *software* ArcGIS® versión 10.3. (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2016).

Cuadro 1. Variables del algoritmo *BIOCLIM* utilizadas para la modelación de la distribución potencial de *Taxodium huegelii* C. Lawson.

Variables bioclimáticas	Descripción
Bio1	Temperatura media anual
Bio2	Rango diurno promedio (Media mensual [Temp. Máx-Temp. Mín])
Bio3	Isotermalidad (Bio2/Bio7) (* 100)
Bio4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar *100)
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido

Bio6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio7	Intervalo de temperatura anual (Bio5-Bio6)
Bio8	Temperatura media del cuatrimestre más húmedo
Bio9	Temperatura media del cuatrimestre más seco
Bio10	Temperatura media del cuatrimestre más cálido
Bio11	Temperatura media del cuatrimestre más frío
Bio12	Precipitación anual
Bio13	Precipitación del mes más húmedo
Bio14	Precipitación del mes más seco
Bio15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
Bio16	Precipitación del cuatrimestre más húmedo
Bio17	Precipitación del cuatrimestre más seco
Bio18	Precipitación del cuatrimestre más cálido
Bio19	Precipitación del cuatrimestre más frío

Para modelar la distribución potencial, se utilizó el algoritmo de MaxEnt o Máxima Entropía (*Maximum Entropy Distribution Modeling*) (Phillips *et al.*, 2006) versión 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2022), considerado como el mejor enfoque de modelado, debido a que genera un mayor valor del *Area Under the Curve* (*AUC*, por sus siglas en inglés), del análisis de *Receiver Operating Characteristic Curve* (*ROC*, por sus siglas en inglés), es decir, indica una mejor discriminación de las áreas propicias frente a las inadecuadas para la especie, aun con pocos registros. Es un estadístico de ajuste que estima la probabilidad de ocurrencia de las especies, basado en requerimientos ambientales y varía entre 0 y -1 (Phillips *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2006; Pearson *et al.*, 2007; Kumar y Stohlgren, 2009). Valores de $AUC \geq 0.75$ representan una buena discriminación del modelo de superficies con y sin

presencia del taxón de interés (Elith *et al.*, 2006). Se utilizó el modelo logístico con 500 iteraciones y se desactivó la opción *Do Clamping*, para evitar extrapolar los valores extremos de las variables.

Del total de los registros, 75 % se utilizaron aleatoriamente para el entrenamiento y 25 % para la prueba (validación); se remuestrearon mediante *bootstrap* para que las covariables independientes se ajustaran al mayor número de muestras. Esta técnica permite estimar una función de distribución empírica a través del remuestreo de los datos observados, y el modelo seleccionado no es afectado por autocorrelación (Austin y Tu, 2004).

Se calcularon las curvas de respuesta de cada variable y sus contribuciones al modelo de hábitat de *T. huegelii*, para ello se utilizó la prueba de *Jackknife* (Phillips *et al.*, 2006), además del análisis *ROC* de *Maxent* para evaluar el modelo.

Mapas

Para elaborar los mapas de distribución actual y potencial, así como el cálculo de la superficie potencial se empleó el *software ArcGIS*® versión 10.3. (ESRI, 2016).

Resultados

A partir del trabajo de campo y la búsqueda en bases de datos, se documentaron 56 registros (Figura 1, Cuadro 2), además de vegetación asociada a *T. huegelii*, tanto nativa como introducida, representada por especies tales como: *Cupressus lusitanica* Mill., *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh., *Salix humboldtiana* Willd., *Schinus molle* L. y *Quercus* sp.

Cuadro 2. Localidades con registros de presencia para *Taxodium huegelii* C. Lawson en el estado de Hidalgo.

Núm.	Localidad	Altitud (msnm)	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	Acatlán. Presa a 1.5 km al norte de Acatlán, carretera Acatlán-Huasca. Creciendo en el margen de la presa. GBIF: 1895049679	2 145	20.147778	-98.4386944
2	Atotonilco el Grande. En un muelle	2 095	20.28650	-98.67068
3	Cardonal. 8 km al N de San Miguel Tlazintla. Año 1976. Suelo profundo, abundante humedad, altura 25-30 m. EncicloVida: ID. SNIB: ec956dc4e4893ab06c616c452d670f92	2 340	20.679167	-99.12278
4	Cardonal. En un río de las grutas de Tolantongo. Tipo vegetación / Bosques perennifolios y decíduos riparios. Creciendo en el margen del río. GBIF: 1895049683	1 296	20.651044	-99.003994
5	Cardonal. Ejido Santuario Mapethe, Bosque de galería, especies asociadas: <i>Quercus</i> sp.	2 219	20.683833	-99.13542
6	Cardonal. iNaturalist: https://www.inaturalist.org/observations/31663438 . GBIF: https://www.gbif.org/occurrence/2397593300	2 342	20.668753	-99.137727
7	Chapantongo. Balneario El Tanque	2 120	20.287576	-99.41035
8	Chilcuautla. Tlacotlapilco	1 794	20.37483	-99.22336
9	Chilcuautla. Tunititlán	1 927	20.240565	-99.229401

10	Chilcuautla. iNaturalist: https://www.inaturalist.org/observations/303669	1 796	20.37501	-99.223973
11	Chilcuautla. iNaturalist: https://www.inaturalist.org/observations/30366906 . GBIF: https://www.gbif.org/occurrence/2331947435	1 793	20.3763083	-99.2244083
12	Epazoyucan. Xolostitla de Morelos. A la orilla de un río seco, pero creciendo a 15 m pendiente abajo de un manantial	2 472	20.075263	-98.62806
13	Huasca. Jardín del Centro de Huasca, frente a iglesia	2 112	20.203183	-98.576567
14	Huasca. Arroyo pequeño en carretera Huasca-Tulancingo, entre tierras de cultivo	2 131	20.210617	-98.538183
15	Huasca de Ocampo. iNaturalist: https://www.naturalista.mx/observations/40061534	2 082	20.214581	-98.557549
16	Huichapan. El calvario. iNaturalist: https://www.naturalista.mx/observations/4987574	2 112	20.375326	-99.63035
17	Huichapan. iNaturalist: https://www.naturalista.mx/observations/12131001	2 112	20.375293	-99.63033
18	Ixmiquilpan. Creciendo en zona inundada. GBIF: 1895049657	1 707	20.480139	-99.22075
19	Ixmiquilpan. A 2 km al N de Ixmiquilpan, sobre el río Tula. Abundante. Árbol grande. GBIF: 1419216930	1 694	20.493255	-99.228820
20	Ixmiquilpan. Bosque de galería, vegetación asociada a <i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh., <i>Schinus molle</i> L.	1 704	20.4805	-99.22192
21	Ixmiquilpan. El Nith. GBIF: 1893897681	1 751	20.489444	-99.19444
22	Ixmiquilpan. iNaturalist: https://www.inaturalist.org/observations/28574742	1 674	20.534803	-99.2519
23	Metztitlán. 500 m al sur del poblado de Metztitlán, cerca de la plaza de alimentos. Flora acuática vascular del estado de Hidalgo: Cuenca hidrológica del Río Moctezuma, México. Bosques perennifolios y decídulos riparios. Creciendo en zona inundada. GBIF: a2486035c9ead34dbeaab4a32528bdb4	1 275	20.5883333	-98.7655278
24	Metztitlán. Zoquizoquipan. Solo hay dos árboles, fuste 7m, circunf. 12.40m. Ladera de cerro, Exp. Oeste, cerca de un manantial y de cultivos de maguey, vegetación perturbada. GBIF: 1893393761	2 235	20.6583333	-98.6916667
25	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Ventoquipa. Cercano a un manantial	2 207	20.03847	-98.34353

26	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Ventoquipa. Cercano a un manantial	2 207	20.0382	-98.34311
27	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Ventoquipa. Cercano a un manantial	2 206	20.0374	-98.34216
28	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Ventoquipa. Cercano a un manantial	2 208	20.03672	-98.34188
29	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Ventoquipa. Cercano a un manantial	2 205	20.03799	-98.3427
30	Santiago Tulantepec de Lugo Gerrero. Cercano a un manantial	2 205	20.038000	-98.342658
31	Santiago Tulantepec de Lugo Gerrero. iNaturalist: https://www.naturalista.mx/observations/8502735 . Cercano a un manantial	2 204	20.037742	-98.342812
32	Tasquillo. iNaturalist: https://www.inaturalist.org/observations/44075347	1 640	20.551056	-99.296091
33	Tecozautla. 500 m al E del manantial de Taxhido. Matorral xerófilo. Enciclovida ID: 97d16d8091da90d6a74bac94927cf0bc	1 604	20.6005555	-99.6481666
34	Tecozautla. El Géiser, a orillas del río Moctezuma. Enciclovida	1 647	20.575833	-99.69417
35	Tecozautla. La Sabina. Vegetación acuática y subacuática. Orilla de río, bosque. Enciclovida: ace30aa2dd066f59d417c8a72b6cc513	1 647	20.60389	-99.58472
36	Tecozautla. iNaturalist: https://www.inaturalist.org/observations/16220700	1 670	20.577873	-99.70684
37	Tasquillo. Puente de Fierro	1 610	20.57628	-99.34317
38	Tezontepec de Aldama. Río Tezontepec. Enciclovida. ID SNIB: 95627084b5792cfa5fab5563bd0b45f0	2 021	20.207817	-99.291640
39	Tezontepec de Aldama. Avenida Allende. iNaturalist: https://www.inaturalist.org/observations/24389679	1 968	20.197992	-99.275825
40	Tula de Allende. Río Tula. Cuenca hidrológica del Río Moctezuma, México. Ambiente / Lótico. Creciendo en el margen del río. GBIF: 1895049697	2 042	20.052389	-99.335972
41	Tulancingo de Bravo. Río Grande. Por el puente de la Universidad Tollancingo	2 163	20.074161	-98.36882

42	Tulancingo de Bravo. Río Grande. A un costado del Boulevard Bicentenario, Tulancingo	2 160	20.077573	-98.3783
43	Zimapán. La Tinaja, a 6.2 km de Zimapán. Bosques perennifolios y deciduos riparios. Creciendo en el margen de zona inundada. GBIF: https://www.gbif.org/occurrence/1895049694	1 825	20.6754167	-99.3868888
44	Zimapán. Venustiano Carranza, 6 km. al NE de Zimapán. Enciclovida: ID, SNIB: e57aa2e5debc8cf1de463a58e1a36da8	1 914	20.755	-99.32833
45	Zimapán. En terrenos de una iglesia. Árbol muy viejo de más de 40 m de altura. Los frutos caen cuando están verdes fragmentándose al impactarse contra el suelo. GBIF: 574801155	1 816	20.750000	-99.36667
46	Zimapán. En un parque. Enciclovida: ID SNIB: 087782963c555af80d4f50f55c301a96	1 774	20.736944	-99.38194
47	Progreso de Obregón. Bosque de galería. Sobre el Río Tula (En los límites de Chilcuautla)	1 900	20.258973	-99.19692
48	Progreso de Obregón. Bosque de galería. Sobre el Río Tula (En los límites de Chilcuautla)	1 896	20.256098	-99.19817
49	Progreso de Obregón. Bosque de galería. Sobre el Río Tula (En los límites de Chilcuautla)	1 904	20.253129	-99.19519
50	Mixquiahuala. Bosque de galería. Sobre el Río Tula (En los límites de Chilcuautla)	1 925	20.240381	-99.22988
51	Mixquiahuala. Bosque de galería. Sobre el Río Tula	1 935	20.237907	-99.23552
52	Mixquiahuala. Bosque de galería. Sobre el Río Tula	1 932	20.234271	-99.23769
53	Tepetitlán. Sobre el Río Tula. A 1.55 km de la presa Endhó	1 994	20.168849	-99.35482
54	Huejutla de Reyes. Sobre un río	112	21.151944	-98.36472
55	Huejutla de Reyes. Sobre un río	113	21.152777	-98.36416
56	San Felipe Orizatlán. Sobre un río	129	21.237778	-98.560556

Control de calidad de presencias

Del total de registros, nueve (16.36 %) fueron excluidos del análisis por no cumplir con los criterios de inclusión. Los registros para la especie se localizaron en 23 de los 84 municipios del estado (Figura 1). De acuerdo con los datos recuperados, *Taxodium huegelii* se distribuye en un intervalo altitudinal de 112-2 472 msnm. Los registros documentados están asociados o próximos a las riberas de los ríos Acayuca, Amajaque, San Juan, Tula y Venados (Río Grande) (Figura 1).

El mapa de distribución potencial (Figura 2) refleja que *T. huegelii* puede establecerse en 63 municipios del estado (intervalo de idoneidad: 0.11-0.92) que coinciden con las riberas de los ríos Acayuca, Amajaque, Amajac, Moctezuma, San Juan, Tula y Venados (Río Grande).

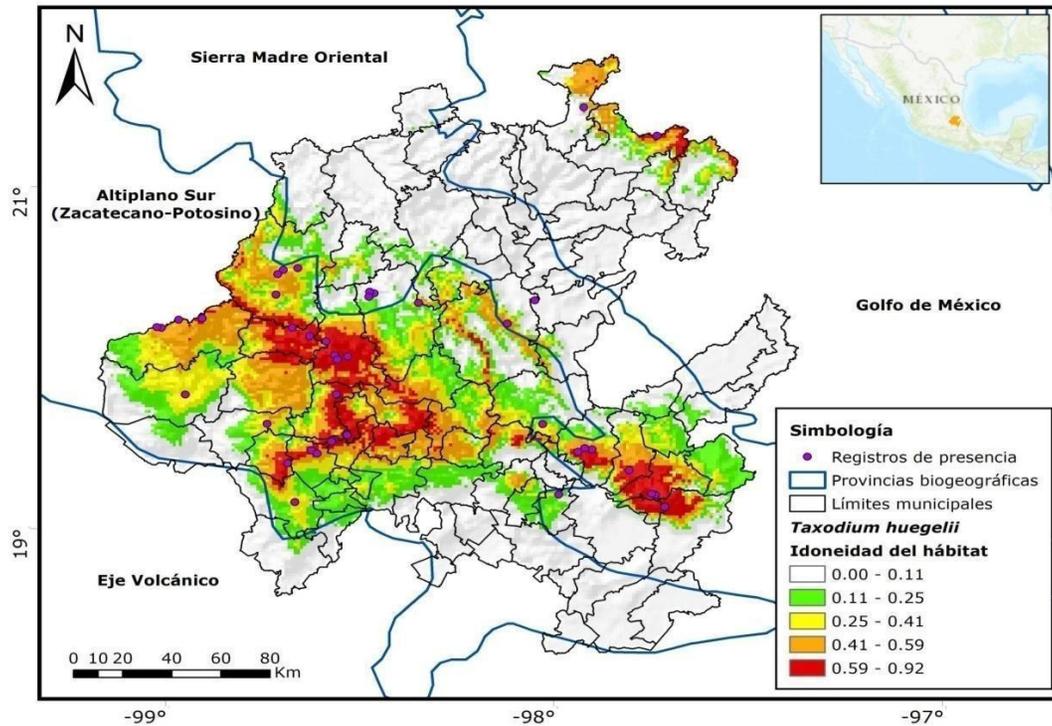


Figura 2. Mapa de distribución potencial de *Taxodium huegelii* C. Lawson y provincias biogeográficas del estado de Hidalgo.

Cálculo de superficie potencial

El mapa de distribución potencial (Figura 2), indicó que probablemente en 1 254.3 km² (6 % de la superficie total del estado de Hidalgo), existen las condiciones de idoneidad para el establecimiento de la especie; mientras que en 8 362 km² (40 %) hay condiciones aceptables (Figura 2).

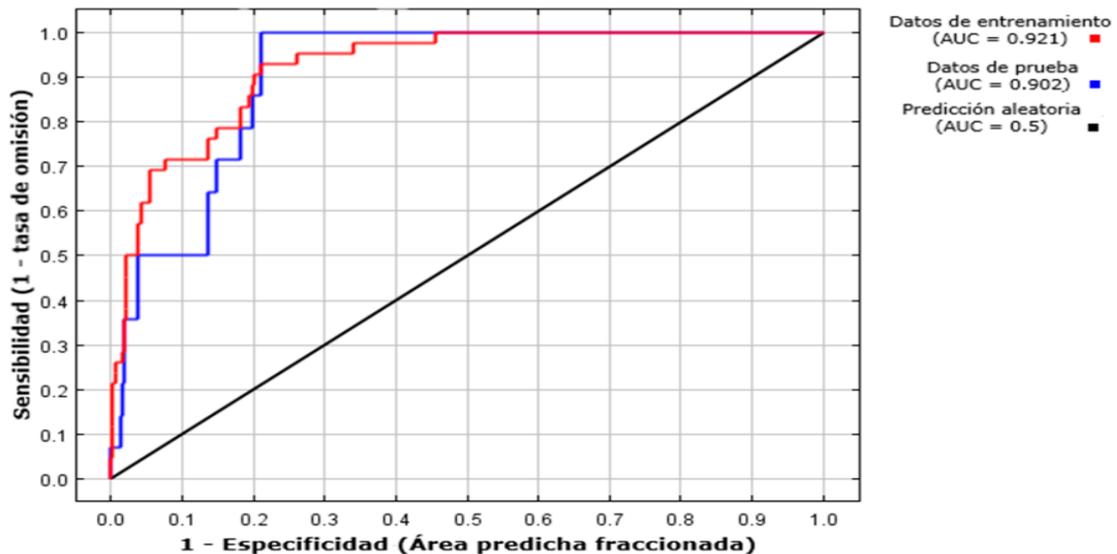
Provincias biogeográficas

De acuerdo con el mapa de la Figura 2, los registros de presencia, así como la superficie donde se presentan las condiciones de idoneidad para *T. huegeli*, se localizan en las provincias biogeográficas del Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino), Golfo de México y la Sierra Madre Oriental. En la primera se obtuvo la mayor cantidad de registros (29) de presencia. Por el contrario, la provincia biogeográfica del Eje Volcánico careció de registros y condiciones ambientales de idoneidad para el desarrollo de la especie.

Evaluación del modelo

El modelo presentó un valor de *AUC* de 0.921 para el entrenamiento y 0.902 para la prueba (Figura 3). Las variables ambientales que más contribuyeron en la predicción (Cuadro 3), fueron la precipitación del cuatrimestre más húmedo (Bio_16), con 24.2 %, la precipitación del cuatrimestre más frío (Bio_19), con

20.5 %; y la temperatura mínima del mes más frío (Bio_6), con 20.3 %, seguidas por la precipitación del mes más húmedo (Bio_13), con un 10.4 %. La altitud (Elev) tuvo poca contribución (4.5 %). Los resultados de la prueba de *Jackknife* indicaron que la temperatura mínima del mes más frío (Bio_6), fue la variable bioclimática que mayor ganancia aporta (>0.4) cuando se usa independientemente, seguida por la precipitación del cuatrimestre más húmedo (Bio_16), la precipitación del mes más húmedo (Bio_13) y la precipitación anual (Bio_12).



La línea roja representa el ajuste del modelo a los datos de entrenamiento. La línea azul, representa el ajuste del modelo a los datos de prueba siendo la prueba real de poder predictivo y la línea negra, es el valor esperado si el modelo no fuese mejor que uno al azar.

Figura 3. Análisis ROC.

Cuadro 3. Variables que más contribuyen al modelo de la distribución potencial de *Taxodium huegelii* en Maxent.

Variable	Contribución porcentual (%)
Precipitación del cuatrimestre más húmedo (Bio 16)	24.2
Precipitación del cuatrimestre más frío (Bio 19)	20.5
Temperatura mínima del mes más frío (Bio 6)	20.3
Precipitación del mes más húmedo (Bio 13)	8.5
Temperatura media del cuatrimestre más húmedo (Bio 8)	7.7
Elevación (Elev)	4.5
Temperatura media del cuatrimestre más seco (Bio 9)	4
Precipitación anual (Bio 12)	3.7
Rango diurno promedio (Media mensual [Temp. Max-Temp. Min]) (Bio 2)	2.3
Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación) (Bio 15)	2
Temperatura media del cuatrimestre más frío (Bio 11)	0.8
Precipitación del mes más seco (Bio 14)	0.7
Precipitación del cuatrimestre más cálido (Bio 18)	0.6
Precipitación del cuatrimestre más seco (Bio 17)	0.1
Temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5)	0
Intervalo de temperatura anual (Bio 5-Bio 6) (Bio 7)	0
Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar *100) (Bio 4)	0
Isotermalidad (Bio 2/Bio 7) * 100 (Bio 3)	0
Temperatura media del cuatrimestre más cálido (Bio 10)	0
Temperatura media anual (Bio 1)	0

Las curvas de respuesta indicaron que la idoneidad del hábitat de *T. huegelii* en el estado de Hidalgo es alta en regiones donde la temperatura mínima del mes más frío (Bio_6) no es inferior a 3 °C, y la precipitación del cuatrimestre más húmedo

(Bio_16), la precipitación del mes más húmedo (Bio_13) y la precipitación anual (Bio_12), es inferior a 250 mm, 100 mm y 500 mm, respectivamente.

Discusión

El trabajo de campo permitió documentar la vegetación asociada a *T. huegelii*: *Cupressus lusitanica*, *Fraxinus uhdei*, *Salix humboldtiana*, *Quercus* sp. y *Schinus molle*. Investigaciones previas citan a los siguientes taxones asociados: *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch, *Cephalanthus occidentalis* L., *Platanus glabrata* Fernald y *Salix gooddingii* C. R. Ball (Villanueva *et al.*, 2014) y algunos géneros de árboles a bajas altitudes, como *Ficus* e *Inga*, pero aún se requiere documentar otros taxa, particularmente en la parte sur de su intervalo de distribución (Farjon, 2017).

Mapas de registros de presencia

La mayoría de los registros y condiciones de idoneidad para la especie se concentraron en las provincias biogeográficas Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino) y Sierra Madre Oriental, principalmente, a lo largo de los cauces de los ríos San Juan y

Río Tula. Con escasos registros en la porción norte y nulos al sur del estado, a pesar de la presencia de ríos (provincias biogeográficas Golfo de México y Eje Volcánico).

Mapas de distribución potencial

Según el mapa de distribución potencial (Figura 2), 23 municipios tienen registros de presencia de la especie y 31 municipios tienen zonas de alta idoneidad para su distribución potencial (0.59-0.92); de estos, 12 carecen de registros previos. A lo largo del Río Amajaque y otras localidades, también hay condiciones de idoneidad para el desarrollo de la especie; sin embargo, no existen registros, por lo que es crucial realizar más trabajo de campo que permita verificar la veracidad del modelado. En los ríos Beltrán, Blanco y Claro, no se ha documentado la presencia de *T. huegelii*, lo cual es consistente con los resultados obtenidos, ya que están ubicados en lugares sin las condiciones ambientales de idoneidad para la especie, a pesar de la presencia de cuerpos de agua (Figura 2).

La distribución potencial de *T. huegelii* está dentro de los límites de las provincias biogeográficas Sierra Madre Oriental, Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino) y Golfo de México. Los tipos de clima que prevalecen corresponden al Cálido húmedo, Seco cálido semiseco, Seco templado, Semifrío semiseco y Templado subhúmedo. Previamente, se ha señalado que es un árbol propio de lugares bajos y semicálidos, poco común en lugares muy cálidos, de 300 m o menos de altitud y con

temperaturas iguales o superiores a 25 °C (Martínez, 1963); lo cual es congruente con los resultados del presente estudio.

Al norte de su distribución en el estado, forma franjas verdes a lo largo de corrientes de ríos en regiones secas con un paisaje árido a semiárido (Farjon, 2017). Además de las condiciones ambientales evaluadas en esta investigación, es posible que factores bióticos adicionales asociados a los tipos de climas en los que la especie está ausente, restrinjan su distribución geográfica.

Evaluación del modelo *AUC*

El modelo es satisfactorio de acuerdo al conjunto de datos de entrenamiento y prueba (Figura 3), ya que se obtuvieron valores de ajuste de 0.921 y 0.902, respectivamente; ello implica que mientras más cerca se sitúen las curvas, el error de omisión es menor y se cumple con el ajuste más apropiado (Elith *et al.*, 2006; Phillips, 2006). En el trabajo de Yi *et al.* (2016) se citan valores de *AUC* de 0.899 para el entrenamiento y 0.840 para la prueba en *Homonoia riparia* Lour., especie riparia.

Contribución independiente de las variables al modelo

Tres de las variables ambientales que más contribuyeron en la predicción se relacionan con la precipitación (Bio_16, 24.2 %; Bio_19, 20.5 % y Bio_13, 10.4 %). Asimismo, las curvas de respuesta indican que la idoneidad del hábitat de *T. huegelii* en el estado de Hidalgo es alta en regiones donde la precipitación del cuatrimestre más húmedo (Bio_16), la precipitación del mes más húmedo (Bio_13) y la precipitación anual (Bio_12) es inferior a 250, 100 y 500 mm, respectivamente.

De acuerdo con los resultados de esta investigación, la mayor parte de los registros documentados se ubican en las riberas de ríos y las localidades asociadas a manantiales en los municipios Chapantongo en el balneario El Tanque, Epazoyucan en Xolostitla de Morelos, Metztitlán en Zoquizoquipan, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero en Ventoquipa, y Tecozautla en los manantiales de Taxhido. Lo anterior evidencia la estrecha relación del desarrollo de la especie con fuentes de agua. La presencia de pocos o únicamente un individuo alejado de los cuerpos de agua es el resultado de plantaciones con fines ornamentales.

T. huegelii desde tiempos prehispánicos se ha introducido y plantado en muchas localidades alejadas de fuentes de agua en México y Guatemala; sin embargo, todos esos lugares tienen (o tenían) capas freáticas a las que llega el profundo sistema de raíces de los árboles. La mayoría de los ejemplares más corresponden a los árboles plantados (Farjon, 2017).

Villanueva *et al.* (2010) señalan que los ahuehuetes de Barranca de Amealco, en Querétaro, son muy sensibles a la precipitación que ocurre en verano, y esto tiene relación con el aumento de los caudales que causan un incremento en la oxigenación y finalmente mayor crecimiento. Además, los cambios estacionales de entre 80 y 90 cm de la profundidad del nivel freático, ocasionan reducciones

temporales del potencial hídrico y la tasa de fotosíntesis neta máxima del follaje (Campos-Ángeles *et al.*, 2005).

La distribución de *T. huegelii* a orillas de ríos es indicativo de vegetación riparia o bosque de galería, la cual es importante para mantener la biodiversidad (Naiman y Décamps, 1997). Durante las inundaciones atrapa nutrientes y contaminantes, además de estabilizar los sedimentos, lo que evita la erosión del suelo y mejora la calidad del agua, lo cual es de crucial importancia si se considera que el Río Tula es uno de los más contaminados a nivel nacional (Ramírez *et al.*, 2017). También reduce la velocidad del flujo de agua manteniendo un curso sinuoso que favorece la recarga de agua en los mantos freáticos a un nivel alto (Patten, 1998); sin embargo, cuando el flujo se incrementa debido a inundaciones prolongadas, puede afectar la regeneración por semillas y brotes (Gecy y Wilson, 1990). Otros factores clave en la disminución de la vegetación ribereña son la compactación del suelo (Kozłowski, 1985), la falta de agua, infertilidad del suelo, contaminación (Kozłowski y Pallardy, 1997), construcción de terrazas fluviales (Enríquez-Peña y Suzán-Azpíri, 2011) y el cambio climático.

La idoneidad del hábitat de *T. huegelii* en Hidalgo es alta en regiones donde la temperatura mínima del mes más frío (Bio_6) no es menor a 3 °C, lo cual coincide con lo citado en la literatura con respecto a que es una especie sensible a las heladas, a diferencia de *T. distichum* (L.) Rich. que soporta temperaturas extremadamente bajas (Farjon, 2017) y su intervalo óptimo de desarrollo es de entre 16 y 22 °C (Conafor y Conabio, 2019). En el norte y centro de México, las temperaturas altas al final del invierno favorecen su crecimiento durante la primavera (Villanueva *et al.*, 2013). Las variables climáticas de precipitación y temperatura están estrechamente relacionadas con la ecofisiología de *T. huegelii* (Fritts, 1976; Correa *et al.*, 2014).

La altitud (Elev) contribuye con 4.5 % a la predicción. En esta investigación se determinó que el intervalo altitudinal para *T. huegelii* en el estado de Hidalgo es de 112 a 2 472 m, lo cual es consistente con los registros previamente citados (Martínez, 1963; Eckenwalder, 2009; Villanueva *et al.*, 2010; Farjon, 2017, Martínez-Sifuentes *et al.*, 2021).

De acuerdo con Martínez-Sifuentes *et al.* (2021), para escenarios futuros de cambio climático (2050, 2070) bajo el criterio de ecosistema ripario, se prevé una reducción en la distribución de *T. huegelii* en México. En Hidalgo no existe ninguna área natural protegida que garantice la conservación de la diversidad genética para la especie; por ello, con base en futuros estudios de diversidad genotípica y fenotípica, debe considerarse la creación de al menos una Zona Sujeta a Conservación Ecológica para la entidad.

El ahuehuete como especie riparia mantiene una estrecha relación con cuerpos de agua, ello implica que su dispersión puede ser mucho más difícil bajo escenarios de cambio climático en comparación con especies arbóreas cuya supervivencia no depende estrictamente de la presencia de masas de agua, por lo que la conservación *in situ* es particularmente importante para esta especie.

La ubicación de organismos longevos es primordial y sustenta la continuación de los esfuerzos para la protección, restauración, formulación de proyectos ecoturísticos y conservación de la gran extensión de ecosistemas riparios únicos de México en los que se distribuye *T. huegelii* (Villanueva *et al.*, 2010; Villanueva *et al.*, 2012). En la Ciudad de México, se utiliza como indicador de mantos acuíferos superficiales (Martínez y Chacalo, 1994). Basado en la dendrocronología, los registros históricos en los ahuehuetes hacen factible determinar la variación estacional de la

precipitación (Cortés *et al.*, 2010; Correa-Díaz *et al.*, 2014); tal es el caso de las condiciones climáticas predominantes durante el establecimiento, florecimiento y decadencia de las civilizaciones Prehispánicas (Villanueva *et al.*, 2010).

Las edades de los ahuehuetes en los bosques de galería en Hidalgo, han sido poco estudiadas (Correa-Díaz *et al.*, 2014) y permanecen prácticamente desconocidas. Entre los estados para los cuales están disponibles ese tipo de datos para individuos de *T. huegelii*, se pueden citar: Aguascalientes, Chiapas, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, Tamaulipas y Zacatecas (Suzán-Azpiri *et al.*, 2007; Villanueva *et al.*, 2010).

Conclusiones

Esta investigación contribuye a resolver uno de los retos en ecología distribucional que consiste en el conocimiento incompleto de la distribución de las especies, ya que se proporcionan registros adicionales de localidades para *T. huegelii* que proveen un panorama más actual de su distribución en el estado de Hidalgo. Dicha información es la base para llevar a cabo investigaciones de caracterización fenotípica y genotípica a nivel poblacional, estimación de la edad de los ejemplares, análisis dendrocronológicos, proyectos ecoturísticos, de protección y restauración, además de la ubicación de nuevos mantos acuíferos superficiales.

De acuerdo con los mapas de distribución generados, futuros trabajos de campo permitirán conocer detalladamente la distribución geográfica de la especie en el

estado. Dichos mapas son relevantes como una herramienta para la toma de decisiones en cuanto a planes de manejo, aprovechamiento sustentable y el establecimiento de áreas, a nivel local, para la conservación de esta especie emblemática de México.

Agradecimientos

A Isaías González Ángeles, Rubén Luna León, Christian de Jesús García Valdez y José Clemente Martínez Becerril, por proporcionar georreferencias y evidencias fotográficas de ejemplares en campo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Rafael Canales-Pérez, Sergio Hernández-León, Abraham Palacios-Romero, Adriana Hernández Lazcano, Rodrigo Rodríguez-Laguna, Alfonso Suárez-Islas, José

González-Ávalos y Oscar Arce-Cervantes: búsqueda de información, trabajo de campo, redacción y revisión del manuscrito.

Referencias

Austin, P. C. and J. V. Tu. 2004. Automated variable selection methods for logistic regression produced unstable models for predicting acute myocardial infarction mortality. *Journal of Clinical Epidemiology* 57(11):1138-1146. Doi: [10.1016/j.jclinepi.2004.04.003](https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2004.04.003).

Ramírez A., A., L. J. Sánchez R. y A. García M. 2017. Por un Tula mejor y más limpio. Centro Educativo Cruz Azul. Tula, Hidalgo, México. 13 p. <http://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/Memoria-Congreso-2017/trabajos-ciencias-biologicas/medio-ambiente/23.pdf>. (17 de noviembre de 2021).

Badii, M. H., A. Guillen, C. E. Rodríguez, O. Lugo, J. Aguilar y M. Acuña. 2015. Pérdida de Biodiversidad: Causas y Efectos. *Revista Daena: International Journal of Good Conscience* 10(2):156-174. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/05/biodiversidad.pdf>. (17 de noviembre de 2021).

Busby, J. R. 1991. Bioclim, a bioclimate analysis and prediction system. In: Margules, C. R. and M. P. Austin (eds.). *Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). Canberra, Commonwealth of Australia. pp. 64-68.

Campos-Ángeles, G. V., J. J. Vargas-Hernández, C. Trejo-López, J. López-Upton y J. Velázquez-Mendoza. 2005. Variación estacional del potencial hídrico, tasa de fotosíntesis y conductancia estomática en el árbol del tule. *Terra Latinoamericana*

23(4):515-522. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311146010.pdf>. (2 de diciembre de 2020).

Carranza-González, E. 1992. Familia Taxodiaceae. Flora Del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo, 4. Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Mich., México. 12 p. Doi: [10.21829/fb.131.1992.4](https://doi.org/10.21829/fb.131.1992.4).

Ceccon, E. 2003. Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencia* 72:46-53. <http://revistas.unam.mx/index.php/cns/article/viewFile/11921/11243>. (6 de agosto de 2020).

Cobos, M. E., L. Jiménez, C. Nuñez-Penichet, D. Romero-Alvarez and M. Simões. 2018. Sample data and training modules for cleaning biodiversity information. *Biodiversity Informatics* 13:49-50. Doi: [10.17161/bi.v13i0.7600](https://doi.org/10.17161/bi.v13i0.7600).

Comisión Nacional Forestal (Conafor) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2019. Paquetes tecnológicos *Taxodium mucronatum* Ten. Ciudad de México, México. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/1011Taxodium%20mucronatum.pdf>. (6 de agosto de 2020).

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2020a. Enciclovida (en línea). www.enciclovida.mx/. (6 de agosto de 2020).

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2020b. REMIB Red mundial de información sobre biodiversidad (en línea). http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html. (6 de agosto de 2020).

Correa-Díaz, A., A. Gómez-Guerrero, J. Villanueva-Díaz, L. U. Castruita-Esparza, T. Martínez-Trinidad y R. Cervantes-Martínez. 2014. Análisis dendroclimático de ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el centro de México. *Agrociencia* 48(5): 537-551. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1101/1101>. (14 de noviembre de 2021).

Cortés-Arroyo, A. R., A. M. Domínguez-Ramírez, M. Gómez-Hernández, J. R. Medina L., M. Hurtado y de la Peña and F. J. Lopez-Muñoz. 2011. Antispasmodic and bronchodilator activities of *Taxodium mucronatum* Ten. leaf extract. *African Journal of Biotechnology* 10(1):54-64. Doi: [10.5897/AJB10.1018](https://doi.org/10.5897/AJB10.1018).

Cortés B., E. N., J. Villanueva D., J. Estrada Á., C. Nieto de Pascual P., V. Guerra de la C. y O. Vázquez C. 2010. Utilización de *Taxodium mucronatum* Ten. para determinar la variación estacional de la precipitación en Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1):113–121. Doi: [10.29298/rmcf.v1i1.659](https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i1.659).

De la Cruz, S., E. Rodríguez, H. N. Dávalos and A. Astudillo-Vázquez. 2012. Acute toxicity and decreased peristalsis in mice caused by *Taxodium mucronatum* and *Acacia farnesiana* extracts. *Revista Latinoamericana de Química* 40(1):19–25. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rlq/v40n1/v40n1a3.pdf>. (17 de noviembre de 2021).

Eckenwalder, J. E. 2009. *Conifers of the world: the complete reference*. Timber Press. Portland, OR, USA. 720 p.

Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudík, ... and N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography* 29(2):129-151. Doi: [10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x](https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x).

Enríquez-Peña, E. G. y H. Suzán-Azpiri. 2011. Estructura poblacional de *Taxodium mucronatum* en condiciones contrastantes de perturbación en el estado de

Querétaro, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 82(1):153–167. Doi: [10.22201/ib.20078706e.2011.1.380](https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.1.380).

Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc. 2016. ArcGIS (Version 10.3.1.). ESRI, Inc. Redlands, CA, USA. <https://support.esri.com/es/products/desktop/arcgis-desktop/arcmap/10-3-1>. (17 de noviembre de 2021).

Farjon, A. 2017. A Handbook of the World's Conifers. Revised and Updated Edition. Brill Academic Publisher. Leiden, Netherlands and Boston, USA. 1112 p.

Farr, T. G., P. A. Rosen, E. Caro, R. Crippen, ... and D. Alsdorf. 2007. The shuttle radar topography mission. Reviews of Geophysics 45(2):1-33. Doi: [10.1029/2005RG000183](https://doi.org/10.1029/2005RG000183).

Fick, S. E. and R. J. Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 37(12):4302-4315. Doi: [10.1002/joc.5086](https://doi.org/10.1002/joc.5086).

Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press. New York, NY, USA. 567 p.

Gecy, J. L. and M. V. Wilson. 1990. Initial establishment of riparian vegetation after disturbance by debris flows in Oregon. The American Midland Naturalist 123(2):282-291. Doi: [10.2307/2426556](https://doi.org/10.2307/2426556).

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). 2020. GBIF Home Page. <https://www.gbif.org>. (5 de agosto de 2020).

Guisan, A. and N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135(2-3):147-186. Doi: [10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9).

Guisan, A. and W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8(9):993-1009. Doi: [10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x).

Hernández, P. A., C. H. Graham, L. L. Master and D. L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29(5):773-785. Doi: [10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x](https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x).

Hutchinson, G. E. 1944. Limnological studies in Connecticut. VII. A critical examination of the supposed relationship between phytoplankton periodicity and chemical changes in lake waters. *Ecology* 25(1):3-26. Doi: [10.2307/1930759](https://doi.org/10.2307/1930759).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2016. Marco Geoestadístico Nacional. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/> (14 de noviembre de 2021).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2017. INEGI. Aguascalientes, Ags., México. 674 p.

International Union for Conservation of Nature (IUCN). 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. (Version 2021-1). <https://www.iucnredlist.org>. (27 de mayo de 2021).

Kozlowski, T. T. 1985. Soil aeration, flooding, and tree growth. *Journal of Arboriculture* 11(3):85-96. Doi: [10.1080/02827588609382405](https://doi.org/10.1080/02827588609382405).

Kozlowski, T. T. y S. G. Pallardy. 1997. Growth control in woody plants. Academic Press. San Diego, CA, USA. 641 p.

Kumar, S. and T. J. Stohlgren. 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. Journal of Ecology and Natural Environment 1(4):94–98. Doi: [10.5897/JENE.9000071](https://doi.org/10.5897/JENE.9000071).

Little, E. L. 1971. Atlas of United States Trees, vol. 1: Conifers and Important Hardwoods. Series: Miscellaneous Publication 1146. US Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. 200 p.

Luján-Hidalgo, M. C., F. A. Gutiérrez-Miceli, L. M. C. Ventura-Canseco, L. Dendooven, ... y M. Abud-Archila. 2012. Composición química y actividad antimicrobiana de los aceites esenciales de hojas de *Bursera graveolens* y *Taxodium mucronatum* de Chiapas, México. Gayana Botánica 69(número especial):7–14. http://www2.udel.cl/~gvalencia/pdf/GB2012_69_ne_Lujan-Hidalgo_etal.pdf. (17 de noviembre de 2021).

Luque, E. 1921. Voto razonado para elegir el árbol nacional. Sociedad Forestal Mexicana. Revista México Forestal 1(9-10):3.

Martínez G., L. y A. Chacalo H. 1994. Los árboles de la Ciudad de México. Universidad Autónoma de México Unidad Azcapotzalco. México, D. F., México. 351 p.

Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas. Instituto de Biología y Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 400 p.

Martínez-Meyer, E., J. E. Sosa-Escalante y F. Álvarez. 2014. El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:1–9. Doi: [10.7550/rmb.43248](https://doi.org/10.7550/rmb.43248).

Martínez-Sifuentes, A. R., J. Villanueva-Díaz, E. Crisantos de la Rosa and D. W. Stahle. 2021. Current and future spatial modeling of habitat suitability of the Mexican baldcypress (*Taxodium mucronatum* Ten.): a proposal for conservation in Mexico. *Botanical Sciences* 99(4):752-770. Doi: [10.17129/botsci.2772](https://doi.org/10.17129/botsci.2772).

Mora-Córdova, C. P. 2012. Manejo in vitro y caracterización molecular de ahuehuate (*Taxodium mucronatum* Ten.). Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Edo. Méx. México. 208 p.

Naiman, R. J. and H. Décamps. 1997. The ecology of interfaces: riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28(1):621-658. Doi: [10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.28.1.621](https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.28.1.621).

Patten, D. T. 1998. Riparian ecosystems of semi-arid North America: Diversity and human impacts. *Wetlands* 18(4):498-512. Doi: [10.1007/BF03161668](https://doi.org/10.1007/BF03161668).

Pearson, R. G., C. J. Raxworthy, M. Nakamura and A. T. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34(1):102–117. Doi: [10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x).

Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190(3–4):231–259. Doi: [10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026).

Phillips, S. J., M. Dudík and R. E. Schapire. 2022. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). American Museum of Natural History. New York, NY, USA. http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. (27 de mayo de 2022).

Suzán-Azpiri, H., G. Enríquez-Peña and G. Malda-Barrera. 2007. Population structure of the Mexican baldcypress (*Taxodium mucronatum* Ten.) in Querétaro, Mexico. *Forest Ecology and Management* 242(2-3):243-249. Doi: [10.1016/j.foreco.2007.01.041](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.041).

Tropicos. 2022. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden (Tropicos v3.3.2). <http://www.tropicos.org>. (7 de marzo de 2022).

Turland, N. J., J. H. Wiersema, F. R. Barrie, W. Greuter, ... and G. F. Smith (eds.). 2018. International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code). *Regnum Vegetabile* 159. Glashütten, Hesse, Alemania. 254 p. <https://koeltz.com/en/international-code-of-nomenclature-for-algae-fungi-and-plants-shenzen-code-2018>. (14 de noviembre de 2021).

Ueda, K. 2017. iNaturalist Research-grade Observations. <https://www.inaturalist.org/>. (14 de noviembre de 2021).

Villanueva D., J., A. Hernández R., F. García S., E. H. Cornejo O., ... y M. K. Cleaveland. 2003. Análisis estructural de un rodal de sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) en Los Peroles, San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 28(94):57-79. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/884/2147>. (14 de noviembre de 2021).

Villanueva D., J., J. Cerano P., D. W. Stahle, V. Constante G., ... y J. de. D. Benavides S. 2010. Árboles longevos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2):7-29. Doi: [10.29298/rmcf.v1i2.634](https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i2.634).

Villanueva D., J., J. Cerano P., J. de. D. Benavides, D. W. Stahle, ... y M. Tostado P. 2012. Reconstrucción de los niveles del lago de Chapala con series dendrocronológicas de *Taxodium mucronatum* Ten. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(14):55-68. Doi: [10.29298/rmcf.v3i14.474](https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i14.474).

Villanueva D., J., V. Constante G., J. Cerano P., A. R. Martínez S., D. W. Stahle y J. Estrada Á. 2013. Fenología y crecimiento radial del sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el río San Pedro Mezquital, Durango. Folleto Técnico Núm. 27. INIFAP-Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Gómez Palacio, Dgo., México. 33 p.

Villanueva D., J., V. Constante G., J. Cerano P. y A. R. Martínez C. 2014. La cuenca San Martín y situación del ahuehuate (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el río sabinas, Coahuila. Folleto Técnico. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Gómez Palacio, Dgo., México. 40 p.

Yi, Y.-J., X. Cheng, Z.-F. Yang and S.-H. Zhang. 2016. Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour.) in Yunnan, China. *Ecological Engineering* 92: 260–269. Doi: [10.1016/j.ecoleng.2016.04.010](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.010).

Zanoni, T. A. 1982. Flora de Veracruz. Taxodiaceae. Fascículo 25. Instituto Nacional sobre Recursos Biótico INIREB. Xalapa, Ver., México. 18 p.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0* [Atribución-No Comercial \(CC BY-NC 4.0 Internacional\)](#), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.