

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Distribución potencial del ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en la República Mexicana.

Por:

ELIZABETH CRISANTOS DE LA ROSA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Torreón, Coahuila, México

MARZO 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA

Distribución potencial del ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en la República Mexicana.

POR:

ELIZABETH CRISANTOS DE LA ROSA

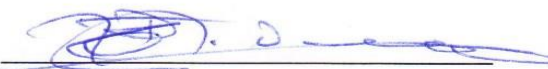
TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

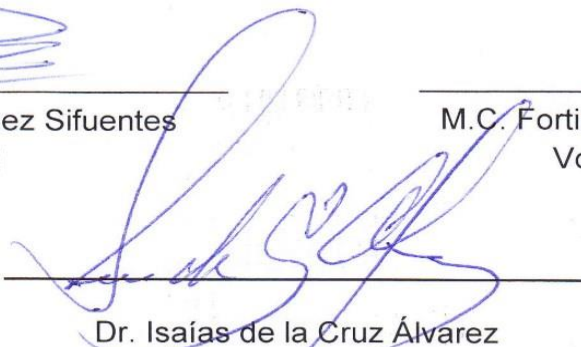
Aprobada por:


M.C. Eduardo Blanco Contreras
Presidente


Dr. José Villanueva Díaz
Vocal


Dr. Aldo R. Martínez Sifuentes
Vocal


M.C. Fortino Domínguez Pérez
Vocal Suplente


Dr. Isaías de la Cruz Álvarez

Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México

MARZO 2020

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA

Distribución potencial del ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en la República Mexicana.

POR:

ELIZABETH CRISANTOS DE LA ROSA

TESIS

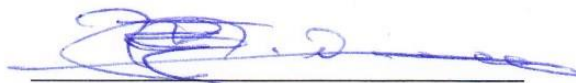
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



M.C. Eduardo Blanco Contreras
Asesor Principal



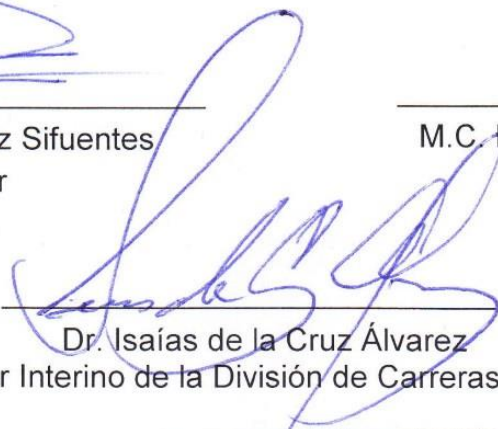
Dr. José Villanueva Díaz
Coasesor



Dr. Aldo R. Martínez Sifuentes
Coasesor



M.C. Fortino Domínguez Pérez
Coasesor



Dr. Isaías de la Cruz Álvarez
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO



Torreón, Coahuila, México

MARZO 2020

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por permitirme llegar a esta etapa, por guiarme en todas las acciones que realizo cada día.

A mi ALMA TERRAMATER por darme la oportunidad de formarme profesionalmente, por permitirme conocer a personas extraordinarias y compartir con ellos logros y momentos de felicidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado para la realización del proyecto de investigación, APN-2976, Proyecto Apoyado por el FOINS. Fondo Problemas Nacionales "Bosques de galería con ahuehuate (*Taxodium mucronatum* Ten.): Tasas de crecimiento y análisis de la variabilidad hidroclimática y antropogénica con fines de conservación".

A mis Directores de Tesis, especialmente al Dr. José Villanueva Díaz por darme la oportunidad y confianza para realizar el proyecto de Tesis, brindándome las herramientas necesarias para la realización del trabajo.

Al Dr. Aldo Rafael Martínez Sifuentes por su apoyo y ayuda a la realización de este trabajo.

Al M.C. Eduardo Blanco Contreras por el aprecio, amistad y motivación de cada día y apoyo para la realización de este trabajo.

Al M.C. Fortino Domínguez Pérez por el apoyo brindado, motivación, amistad y confianza durante el proceso de mi formación.

A mis maestros: Dr. Jesús Vásquez Arroyo, M.C. Emilio Duarte Ayala y M.C. Gerardo Zapata Sifuentes, por haber compartido sus conocimientos, experiencia y apoyo, en el proceso de mi formación.

DEDICATORIA

A mi familia por el amor que me han brindado, estímulo y comprensión durante esta etapa de formación.

Dedico de manera especial a mi Mamá Silvia Martínez, por el apoyo constante y amor brindado, fuiste mi motivación para concluir este sueño, siempre serás mi ejemplo a seguir.

A mis Abuelos Luisa Martínez y Roberto Crisantos, Aurelia Sánchez y Gabriel De la Rosa, gracias por sus consejos y cariño.

A mis hermanas Maricela, Rosa, Yadira y Berenice, por esas palabras de aliento y apoyo para culminar esta etapa.

A mi novio Jesús Sánchez por el apoyo brindado durante este periodo, gracias por formar parte de esto.

A mi gran amiga Suly Mena, por ese amor y confianza, por apoyarme cuando más lo necesite. Te agradezco por la ayuda brindada.

Muchas gracias a todos ustedes, seres que me ofrecen amor, confianza y bienestar, gracias por formar parte de este logro.

RESUMEN

El ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) es considerado árbol nacional de México, el cual es apreciado por su belleza y larga vida, forma parte de los ecosistemas acuáticos y alberga diversas especies que presentan un gran dinamismo ecológico. Los servicios que brindan estos ecosistemas son muy importantes ya que sirven de filtro, mantienen la calidad del agua y proveen protección contra inundaciones y erosión. El objetivo de este estudio fue determinar el área de distribución potencial actual y futura del ahuehuete, a través de variables de mayor importancia que determinan la distribución de la especie. La distribución de especies se fundamenta en Modelos de Distribución de Especies (MDE), que son herramientas diseñadas para calcular la distribución geográfica potencial de las especies. Para generar el modelo se utilizaron registros de presencia, variables ambientales como climáticas, edáficas, orográficas y calidad de agua, las cuales fueron descargadas de diferentes plataformas en formato raster que se homogenizaron para que mostraran una misma resolución espacial, los puntos de presencia y las variables fueron depurados de acuerdo a condiciones ecológicas y análisis correlativos.

El algoritmo de distribución de "MaxEnt", presentó resultados favorables en el desempeño del modelo, el cual se cataloga como excelente (AUC=0.91); la herramienta permitió predecir las áreas idóneas en que la especie puede distribuirse. Las variables con mayor aportación y que condicionan la presencia de la especie son: BIO 11 temperatura del trimestre más frío (25%), BIO18 precipitación del trimestre más cálido (23.5%), Modelo de Elevación (17.2%), Demanda Bioquímica de Oxígeno (8.6%), BIO19 precipitación del trimestre más frío (6.1%), Sólidos Suspendidos Totales (4.6%), BIO15 Estacionalidad de precipitación (3.6%). Estas variables explican 88.6% del total de la variabilidad del modelo. La superficie total que presentó el modelo fue de 289,769.11 km², el cual se dividió en regiones con una superficie para el Norte de 31,296.52 km², Centro Occidente de 117,269.31 km², Centro de 49,826.55 km², Sur de 91,376.73 km².

Acorde a los escenarios de cambio climático, para el año 2050, se prevé una disminución de la superficie en 93%, y para el año 2070 en 94%.

Estudios de distribución de especies son importantes en diversas disciplinas cuyos objetivos están dirigidos al monitoreo y conservación de especies bajo amenaza, que al contar con cartografía de alta resolución optimizan recursos para el cuidado y conservación de especies, como es el caso del ahuehuete en el presente estudio.

Palabras Claves

Taxodium mucronatum, Distribución, MaxEnt.

ABSTRACT

The baldcypress is considered the national tree of Mexico, species appreciated by its beauty and longevity life, is part of the aquatic ecosystems and habitat for several species that have a great ecological dynamism. The ecological services provided by these ecosystems are very important, function as a filter to pollutants, improves water quality and decreases soil erosion, preventing soil degradation. The objective of this study was to determine the area of current and future potential distribution, through variables of major importance that determine the species distribution. The distribution of baldcypress is based on Species Distribution Models (SDM), which are specific tools for estimating its potential geographic distribution. To generate the model, records of its presence and environmental variables such as climate, edaphic, orographic and water quality were involved. These variables were downloaded from different raster platforms that were homogenized to show the same spatial resolution, points of presence and variables were filtered according to ecological conditions and correlative analysis.

The “MaxEnt” distribution algorithm presented favorable results in the performance of the model, which is classified as excellent (AUC = 0.91); the tool allowed to predict the ideal areas in which the species can be present. The variables with the greatest contribution and that conditioned the presence of the species were: BIO 11 temperature of the coldest quarter (25%), BIO18 precipitation of the warmest quarter (23.5%), Elevation Model (17.2%), Biochemical Oxygen Demand (8.6%), BIO19 precipitation of the coldest quarter (6.1%), Total Suspended Solids (4.6%), and BIO15 Seasonality of precipitation (3.6%). These variables explained 88.6% of the total variability of the model. The total area presented by the model with presence of baldcypress was 289,769.11 km², which was divided into regions presented an area of 31,296.52 km² for the Northern portion, 117,269.31 km² for the west region, 49,826.55 km² for the center, and 91,376.73 km² for the southern region

According to climatic change scenarios, by year 2050, a decrease in distribution area is expected in 93%, and by year 2070 increase to 94%.

Species distribution studies are important in various disciplines focused for monitoring and conservation of species under threat, which by using high resolution cartography are able to optimize resources to improve the environment and to protect the species for enjoyment of future generations.

Keywords

Taxodium mucronatum, distribution, MaxEnt.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
HIPÓTESIS.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Origen y distribución.....	4
2.2 Descripción botánica del ahuehuete.....	4
2.2.1 Clasificación Taxonómica.....	9
2.2.2 Datos taxonómicos.....	9
2.3 Usos.....	10
2.4 Los Sistemas de Información Geográfica.....	10
2.4.1 Como funciona SIG.....	11
2.5 Nicho Ecológico.....	11
2.5.1 Modelo de nicho ecológico.....	12
2.6 Modelo MaxEnt.....	12
2.6.1 Determinación del área de distribución potencial.....	13
2.7 Cambio Climático.....	13
2.7.1 Ecosistemas forestales y cambio climático.....	14
2.7.2 Escenarios.....	15
2.8 Calidad del Agua.....	16
2.8.1 Demanda bioquímica de oxígeno.....	17
2.8.2 Sólidos suspendidos totales.....	17
2.9 Áreas Naturales Protegidas.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1 Área de estudio.....	20
3.1.2 Vegetación.....	20

3.1.3 Suelos	21
3.1.4 Clima	21
3.1.5 Hidrología	22
3.2 Registros de presencia del ahuehuete	24
3.2.1 Variables de clima.....	24
3.2.2 Variables edafológicas.....	26
3.2.3 Calidad del agua	27
3.2.4 Topografía	27
3.3 Polígono Mínimo Convexo	27
3.4 Variables correlacionadas	28
3.5 Modelado de Nicho	28
3.5.1 Programa de modelaje MaxEnt	29
3.6 Evaluación de los modelos de distribución	31
3.7 Variables climáticas bajo cambio climático.....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1 Área bajo la curva (AUC)	34
4.2 Variables determinantes para la distribución de ahuehuete	36
4.3 Prueba Jackknife para la evaluación de la importancia relativa de las variables	37
4.4 Mapa de distribución actual	38
4.4.1 Modelo de distribución	39
4.4.2 Regionalización	41
4.5 Curvas de respuesta	53
4.5.1 BIO11 Temperatura media del trimestre más frío.....	54
4.5.2 BIO18 Precipitación del trimestre más cálido.....	55
4.5.3 Modelo Digital de Elevación	56
4.5.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno	57
4.5.5 BIO19 Precipitación del trimestre más frío	58
4.5.6 Sólidos Suspendidos Totales.....	59
4.5.7 BIO15 Estacionalidad de precipitación	60
4.5.8 Análisis de cambio climático para los años 2050 y 2070.....	61
V. CONCLUSIONES.....	63
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Variables Bioclimáticas disponibles en el modelo WorldClim	25
Cuadro 2. Variables edafológicas derivadas del sistema de mapeo SoilGrids.....	26
Cuadro 3. Variables analizadas para el modelo que representan el área de idoneidad de distribución del ahuehuete en México	33
Cuadro 4. Porcentaje de contribución de variables analizadas del modelo de MaxEnt	35
Cuadro 5. Áreas naturales protegidas región norte.....	42
Cuadro 6. Áreas naturales protegidas región centro occidente	44
Cuadro 7. Áreas naturales protegidas región centro.....	48
Cuadro 8. Áreas naturales protegidas región sur	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ahuehuete en un paraje de bosque de galería del río Nazas Durango	5
Figura 2. Ramas del ahuehuete, las hojas están dispuestas de manera alterna en dos hileras	6
Figura 3. Rama de ahuehuete estróbilos masculinos y femeninos en racimos	7
Figura 4. <i>Taxodium mucronatum</i> Ten.....	8
Figura 5. Categorías y Distribución de las ANP en México.....	18
Figura 6. Delimitación geográfica de la república mexicana.....	23
Figura 7. Interface gráfica para correr el programa Maxent.....	29
Figura 8. Ventana de configuración de las opciones de Maxent	30
Figura 9. Ejemplo de curva ROC generada a partir del programa Maxent 3.4.0. Los modelos con un AUC > 0.5, tienen una predictibilidad mejor que lo esperado al azar	31
Figura 10. Análisis de sensibilidad, curva ROC y área bajo la curva (AUC) para los modelos predictivos, utilizando MaxEnt para la distribución de ahuehuete	34
Figura 11. Gráfica que muestra las variables más importantes para el modelo de distribución de ahuehuete	36
Figura 12. Resultados de la prueba de jackknife de variables de importancia para ahuehuete.....	37
Figura 13. Distribución de ahuehuete en México en una superficie estimada de 289,769.11 km ²	38
Figura 14. Distribución del ahuehuete en México generado por CONABIO	39
Figura 15. Mapa de distribución con presencia de ahuehuete región norte	41
Figura 16. Mapa de distribución con presencia de ahuehuete región centro occidente	43
Figura 17. Mapa de distribución con presencia de ahuehuete región centro	47
Figura 18. Mapa de distribución con presencia de ahuehuete región sur	51
Figura 19. Comportamiento de la variable BIO11	54
Figura 20. Comportamiento de la variable BIO18.....	55
Figura 21. Comportamiento de la variable MDE	56

Figura 22. Comportamiento de la variable DBO	57
Figura 23. Comportamiento de la variable BIO19.....	58
Figura 24. Comportamiento de variable SST	59
Figura 25. Comportamiento de la variable BIO15.....	60
Figura 26. Mapa de distribución de ahuehuate escenario 4.5 y modelos MPIESM-LR, GFDL-CM3, HADGEM2-ES, para el año 2050	61
Figura 27. Mapa de distribución de ahuehuate escenario 4.5 y modelos MPIESM-LR, GFDL-CM3, HADGEM2-ES, para el año 2070.	62

I. INTRODUCCIÓN

"Distribución Potencial del ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en la República Mexicana".

México se aprecia por poseer gran diversidad biológica, una de las más importantes del planeta, por eso la necesidad de conservar los recursos naturales ya que es un patrimonio importante por su enorme potencial de producción de alimentos, industria, ecológico, entre otros (Rzedowski, 1978). La extraordinaria riqueza cultural de México ha sido ampliamente difundida, sin embargo, su gran diversidad biológica es poco conocida y valorada; un caso especial es el ahuehuete, que a pesar de ser el árbol nacional, su hábitat se encuentra con alto disturbio ecológico, donde algunas de sus poblaciones se encuentran en peligro de desaparecer (Mittermeier & Goettsch, 1992).

La conservación de especies tiene una importancia ecológica considerable pues algunas especies clave desempeñan una función importante en el mantenimiento de la diversidad de otras especies (Flores & León, 1998). Es el caso de los arboles dominantes, los cuales aumentan la biodiversidad local, al proporcionar numerosos recursos naturales para otras especies.

El ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) es una especie ribereña muy apreciada por su belleza, aspecto majestuoso y larga vida (Martínez, 1999). Es parte de corredores naturales entre los sistemas acuáticos y terrestres, en ella se encuentra gran diversidad de especies que presentan un gran dinamismo ecológico (Rzedowski, 1978). Los servicios ecológicos que prestan estas comunidades son muy importantes, pues una comunidad conservada sirve de filtro entre el río y los ambientes adyacentes (Timoney *et al.*, 1997). Estos servicios ecológicos mantienen la calidad del agua y proveen protección contra inundaciones y erosión.

Actualmente los ecosistemas están siendo afectados por el cambio climático, el incremento de la temperatura y la concentración de gases efecto invernadero, están

causando cambios en la mayoría de los ecosistemas, el CO₂ es el que más contribuye a este fenómeno (IPCC, 2007). Los servicios ecosistémicos son utilizados de diferentes maneras por la sociedad y debido al mal manejo se encuentran amenazados por factores como: sobreexplotación y cambios de uso del suelo. Aplicar el conocimiento ecológico ayudará a optimizar el uso de los recursos, ya que la restauración y conservación de los ecosistemas es vital para todos los seres vivos que dependen de los servicios ecosistémicos que proveen estas comunidades (Tiessen & Stewart, 2000).

El ahuehuete, especie de gran importancia ecológica y cultural, se considera de gran relevancia en México, debe ser rescatado y conservado por la importancia histórica y ecológica que tiene. En el país, necesitamos realizar estudios sobre la distribución actual de las poblaciones de ahuehuete, su estado de conservación y problemas que amenazan su supervivencia; ya que es una especie clave de los ecosistemas riparios y de los cuales depende una diversidad biológica y asentamientos humanos, que hacen uso de los servicios ecosistémicos que los bosques de galería dominados por ahuehuete proveen a la sociedad.

OBJETIVO

Desarrollar un modelo de idoneidad del hábitat de ahuehuete en la república mexicana.

HIPÓTESIS

El modelo de idoneidad permitirá determinar la distribución espacial del ahuehuete y las condiciones ecológicas más sobresalientes que favorecen su presencia en un gradiente latitudinal en la república mexicana.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen y distribución

El ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.), es una especie con amplia distribución en México aunque también la podemos encontrar desde el sur de los Estados Unidos hasta Guatemala en América Central (Martínez, 1953). Es un árbol propio de lugares bajos y semicálidos, crece a orillas de los ríos con las raíces parcial o totalmente sumergidas en el agua; se adapta a lugares templados y con alto nivel freático.

La distribución altitudinal del ahuehuete va de los 300 hasta los 2500 msnm; con precipitación media anual de 800 a 1,600 mm y, temperatura de 16-20 °C mínima a 25 °C máxima, está adaptado a suelos húmedos con un pH mayor a 7 (CONABIO, 2019). Se ubica en climas cálidos, semicálidos y templados. Esta especie es freatofita por excelencia. La base del tronco está sumergida durante gran parte del año. La podemos encontrar tanto a la orilla de ríos como en manantiales. Este tipo de vegetación forma los llamados "bosques de galería" o también denominados bosques subperennifolios "riparios".

La especie tiene amplia distribución en México y se encuentra presente en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Coahuila, Sonora, Sinaloa, Durango, San Luis Potosí, Aguascalientes, Zacatecas, Querétaro, Morelos, Cd. de México, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Guanajuato, Nayarit, Jalisco, Tlaxcala y Chiapas (Fonseca, 1994). Es considerado árbol nacional, y está ligado a importantes hechos históricos en México (Carranza, 1992). Existen varios ejemplares que son notables por su longevidad.

2.2 Descripción botánica del ahuehuete

El ahuehuete es el árbol nacional de México (Figura 1), alcanza una altura de 30 a 40 m y un diámetro de 2 a 10 m, tiene el tronco recto y a veces lobulado o con abultamientos irregulares, en ocasiones se divide desde la base en dos o tres secciones suele fusionarse con facilidad con árboles adyacentes; la copa es amplia e irregular posee ramas robustas, torcidas y extendidas de corteza fisurada y

escamosa que se subdividen continuamente en ramas delgadas. La corteza presenta tonalidades que van desde grisáceo a café oscuro y suele desprenderse en piezas longitudinales de estructura fibrosa. Raíz extendida, tortuosa con abultamientos superficiales, de gran desarrollo con raicillas abundantes (Medina & Dávila, 1997; Zaroni, 1982).



Figura 1. Ahuehuete en un paraje de bosque de galería del río Nazas Durango.

Las hojas son alternas, compuestas, lineares o ligeramente falcadas de 2-4 mm de largo ramas persistentes, de 10 mm de largo en las ramas decíduas; todo el conjunto con la apariencia de una hoja pinnaticompuesta, con 20-60 pares de hojas sobre cada rama (Figura 2). La coloración de las hojas es verde oscuro, de 10 a 20 mm de largo, haz convexo, base envainante, ápice agudo y borde entero, hendidas longitudinalmente en la parte central, envés con 5-6 hileras en racimos o panículas subsésiles, hasta con 30.0 cm de largo, brácteas ovoide-trianguares alrededor de un eje, con glándulas de resina aromática en la parte dorsal (Medina & Dávila, 1997).



Figura 2. Ramas del ahuehuete, las hojas están dispuestas de manera alterna en dos hileras.

Fuente: <https://www.naturalista.mx/taxa/49665-Taxodium-mucronatum/photos/236958>

La especie presenta flores masculinas terminales (estróbilos), (Figura 3) con 4-6 sacos polínicos, globosos, uniloculares, dehiscencia longitudinal; cada una formada por un aumento subsésil de 3 mm de diámetro, protegido por brácteas ovoide-trianguulares alrededor de un eje. Los estróbilos femeninos 2.0-3.0 cm de diámetro, los óvulos maduros 0.7-1.0 cm de largo, 0.4-0.6 mm de ancho, pardo-rojizos (Medina & Dávila, 1997).



Figura 3. Rama de ahuehuete estróbilos masculinos y femeninos en racimos.

Fuente: <https://www.naturalista.mx/taxa/49665-Taxodium-mucronatum/photos/236958>

El fruto es oval a globoso, aromático y color verde-azuloso, cuando son inmaduros contiene glándulas resiníferas en su interior, casi sésiles y es café leñoso cuando madura, de 2.0-3.0 cm de largo, 1.7 cm ancho; escamas 22-40, trapezoidales, rugosas, con vejigas resiníferas y escamas que contienen de 1-2 semillas (Medina & Dávila, 1997).

Los estróbilos maduros se presentan principalmente en los meses de julio y agosto, aunque es posible observarlos desde febrero hasta noviembre (Figura 4). Los estróbilos masculinos maduros se observan de febrero a abril, los jóvenes desde julio hasta enero (CONABIO, 2019). Esta especie poliniza desde finales de febrero hasta el final de marzo. Los mega estróbilos maduran durante el mismo año para la diseminación de los óvulos maduros que es en otoño

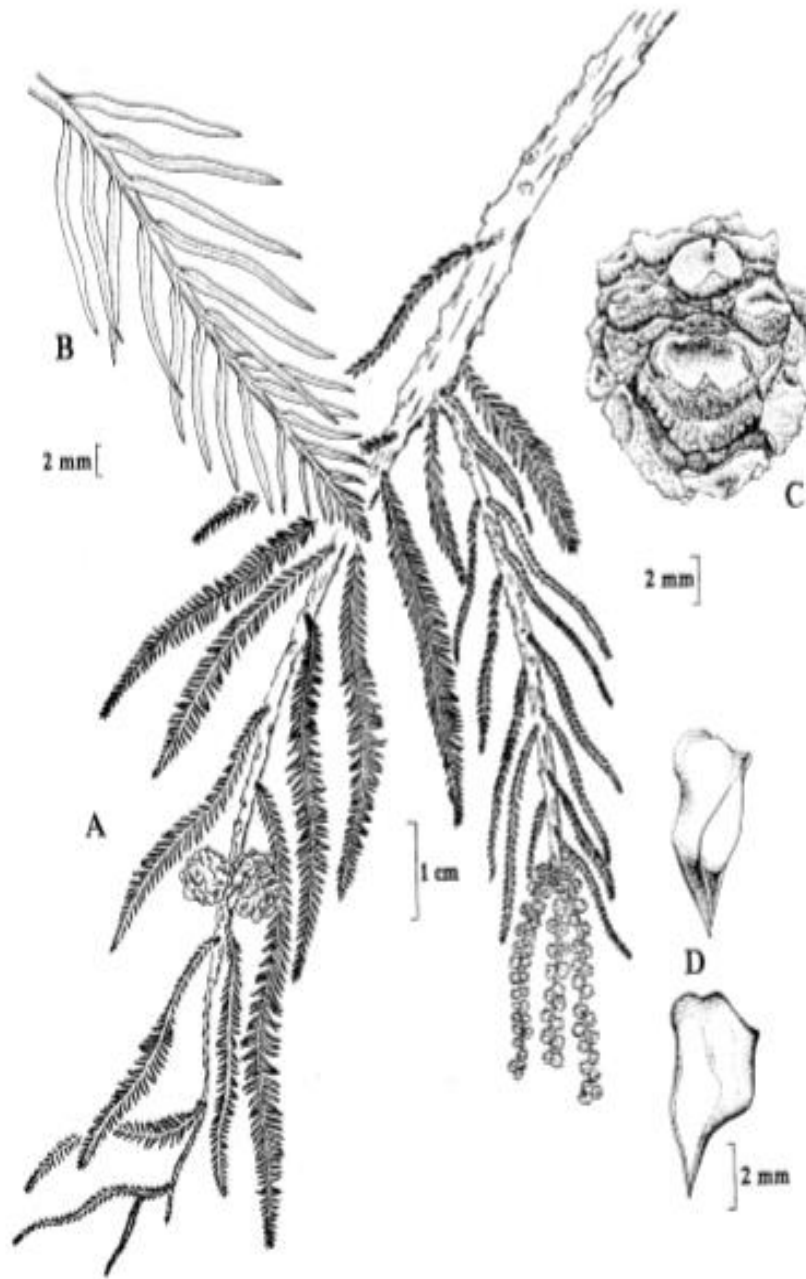


Figura 4. *Taxodium mucronatum* Ten.

A. Rama con flores, B. Detalle de la hoja, C. Fruto maduro, D. Semillas.
 Fuente: Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Medina & Dávila, 1997).

2.2.1 Clasificación Taxonómica

El ahuehuete especie arbórea cuyo origen etimológico proviene de la lengua náhuatl, ahuéhuatl o ahoéhuatl viene de atl que significa agua y huehue de viejo o abuelo; este nombre es el más utilizado en la región central del país. También es conocido como sabino o ciprés de río. En 1921, el ahuehuete recibió la condecoración de "Árbol Nacional de México" debido a su amplia distribución en la geografía del país y su importancia cultural desde las épocas prehispánicas (Martínez, 1999).

En la ficha técnica del Herbario Nacional de México (MEXU) presentada en sus Colecciones Biológicas, (IBUNAM, 2019) clasifica al ahuehuete de la siguiente manera:

2.2.2 Datos taxonómicos

Reino	Plantae
Phylum o división	Tracheophyta
Clase	Pinopsida
Orden	Pinales
Familia	Cupressaceae
Género	Taxodium
Especie	Taxodium mucronatum
Nombre científico	<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.

Fuente: UNIBIO: Colecciones Biológicas.

Actualmente, diversos estudios señalan que es posible que *Taxodium distichum* una especie distribuida en el sur de los Estados Unidos de América y *Taxodium mucronatum*, la especie distribuida en México, sean la misma especie y que esta pudiera clasificarse como *Taxodium distichum* var. *Mexicanum* (Geoffrey & Michael, 2007). Sin embargo, aún existe debate en definir con claridad la clasificación botánica correcta.

2.3 Usos

Árbol ornamental y de sombra. La madera es suave y ligera, susceptible al pulimento y resistente a la humedad, por lo que se utiliza en la fabricación de canoas, postes y vigas. Asimismo, la madera es usada en construcción y el tallo es usado como leña. A la resina, hojas y corteza se le atribuyen varias propiedades medicinales (CONABIO, 2019). La resina se usa para curar heridas, úlceras, enfermedades cutáneas, dolor de muelas, dolores de cabeza y dolor de tipo reumático. La infusión de la corteza se usa como emenagogo y diurético y la de las hojas se usa como resolutivo. Con el tronco se combaten casos de bronquitis y afecciones del pecho. En la ciudad de México se está utilizando en algunas investigaciones como indicador de mantos acuíferos superficiales.

2.4 Los Sistemas de Información Geográfica

A principios de la década de 1960, el interés por la información geográfica y el estudio del medio da el nacimiento de la era informática, propiciando la aparición de los SIG. El primer Sistema de Información Geográfica formalmente desarrollado aparece en Canadá, por el Departamento Federal de Energía y Recursos (Guerra & Fernando, 2009). Este sistema, denominado CGIS (Canadian Geographical Information Systems), fue desarrollado por Roger Tomlinson, quien dio forma a una herramienta que tenía por objeto el manejo de los datos del inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural (López, Posada, & Moreno, 1998). Tomlinson es pionero en este campo, y se considera oficialmente como el que genera el nacimiento del SIG.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son un conjunto de herramientas compuesto por un hardware, software, datos y usuarios, que permiten capturar, almacenar, administrar y analizar información digital, así como realizar mapas y gráficos, son elementos esenciales para las actividades, espaciales del mundo real (Lorenzo, 2015). ArcGIS es el principal componente de las aplicaciones de ESRI. Los SIG han sido ocupados durante décadas para los problemas de gestión territorial, de recursos naturales y para cuestiones relacionadas con el medio ambiente (Del Bosque *et al.*, 2012).

2.4.1 Como funciona SIG

Los SIG tienen dos componentes: el modelo de datos y las herramientas. Nos permiten realizar análisis vicariantes, es decir comparaciones entre escalas y perspectivas emulando una cierta capacidad de representación de diferentes lugares al mismo tiempo, también nos permite diferenciar entre cambios cualitativos y cuantitativos, aportando una gran capacidad de cálculo (Dominguez, 2000). Los SIG nos permiten gestionar un gran volumen de información a diferentes escalas y proyecciones, integra espacialmente datos tabulares y geográficos junto a cálculos sobre variables.

2.5 Nicho Ecológico

El nicho ecológico es la unidad condicionada evolutivamente entre el organismo y el ambiente, unidad que se establece a través de las interacciones que representan los efectos del organismo sobre el ambiente y, a su vez, del ambiente sobre el organismo (Silva & Berovides, 1982). Hutchinson (1957), definió el nicho como un hiper volumen presente en un espacio multidimensional, donde las dimensiones representan las variabilidades ambientales que afectan a la especie. Cada dimensión del nicho representa una variable ambiental importante para la supervivencia de la especie.

Las variables que dan forma al nicho ecológico de la especie pueden ser bióticas o abióticas, y pueden representarse mediante valores numéricos (como la temperatura), u otros tipos de valores (textura del suelo, contenido de materia orgánica) (Benito de Pando, 2009). Se han reunido pruebas empíricas de que el enfoque de una población en el espacio de nicho determina su abundancia. Existen varios trabajos donde se utilizan algoritmos de estimación de nichos para obtener una aproximación al nicho fundamental (medido como «idoneidad de hábitat»), y luego se establece una correlación entre la idoneidad de hábitat con datos de abundancia tomados en campo o de la literatura (Osorio, Falconi, & Soberón, 2016).

Se ha planteado que la variación espacial de la abundancia poblacional puede inferirse a través de modelos de idoneidad ambiental. Los sitios con mayor idoneidad ambiental representarían las mejores condiciones ambientales para la especie según sus óptimos fisiológicos, por lo que el tamaño poblacional será alto, mientras que las poblaciones menos numerosas se ubicarían en regiones con menor idoneidad ambiental (VanDerWal *et al.*, 2009).

El concepto de nicho es un atributo a los individuos de una población perteneciente a una comunidad y ecosistema particulares, el nicho es en sí dinámico, no solo porque las interacciones organismo ambiente cambian, sino porque este no es el mismo para el estado juvenil, subadulto o adulto de un organismo en particular y puede además, variar estacionalmente en cada estadio, según el ciclo de vida y su duración (Whittaker, Levin, & Root, 1973).

2.5.1 Modelo de nicho ecológico

El modelado de nicho ecológico se ha convertido en la principal herramienta para el modelado de distribución de especies. Se necesitan dos fuentes de entrada de datos para la generación de modelos de distribución basados en nichos, es decir, la presencia/ausencia de la especie o sólo la presencia de datos y un conjunto de variables ambientales relevantes (Elith *et al.*, 2011). El modelado de nicho ecológico ha permitido representar cartográficamente la idoneidad de un área para la presencia de una especie utilizando diferentes variables ambientales (clima, suelo). El modelo de distribución de especies es una herramienta útil que ha tenido gran auge en los últimos años, pues nos permite evaluar la diversidad ecológica (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011).

2.6 Modelo MaxEnt

MaxEnt es un software para el modelado de distribución de especies que estima la distribución, mediante registros de presencia solamente y algoritmo de máxima entropía (Phillips *et al.*, 2017). El resultado del modelo muestra la idoneidad del hábitat para la especie.

Un valor alto de la función de distribución en una celda determinada indica que esta presenta condiciones favorables para la presencia de la especie. El programa brinda curvas de respuesta para la especie entre distintas variables ambientales y estima la importancia de cada variable (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006). Los modelos predictivos de las distribuciones geográficas de las especies son importantes para una variedad de aplicaciones en ecología y conservación (Graham *et al.*, 2004).

Los modelos de distribución de especies estiman la distribución al examinar las relaciones entre los registros de ocurrencia de especies y las características ambientales de los sitios de ocurrencia (Elith *et al.*, 2011). Planificando la selección de áreas para la conservación y poder pronosticar efectos de cambio ambiental (Elith & Leathwick, 2009).

2.6.1 Determinación del área de distribución potencial

Predecir modelos de distribución de especies se ha convertido en una importante herramienta para la planificación y conservación de especies, por lo que se han desarrollado varias técnicas de modelado (Guisan & Thuiller, 2005) . Dichos modelos utilizan asociaciones entre variables ambientales y registros de ocurrencia de especies para identificar las condiciones ambientales donde se han mantenido las poblaciones.

De los modelos de MaxEnt se obtienen mapas de distribución de probabilidades (que van de 0 a 100%, lo que indica la idoneidad relativa), para determinar la presencia y ausencia de la especie (Pearson, 2010) . El software también calcula una serie de umbrales alternativos, las estadísticas de validación del modelo y permite ejecutar un procedimiento, para determinar qué variables ambientales ejercen un mayor peso en la predicción del modelo.

2.7 Cambio Climático

Los ecosistemas son muy sensibles por los cambios meteorológicos extremos, cambios en la temperatura, precipitación y aumento del nivel del mar, provocan la

destrucción de los ecosistemas, llevando a la pérdida de biodiversidad y agotamiento de los recursos naturales, la escases de agua cada vez es más evidente así como el acelerado avance de la desertificación (Hernández & Borrel, 2005). Los riesgos del cambio climático varían según la región, poblaciones, espacio y tiempo, por lo que depende de innumerables factores.

Los impactos relacionados con el clima alteran el funcionamiento de los ecosistemas, la interrupción de la producción de alimentos y el suministro de agua, provocan consecuencias al bienestar humano. Para los países en todos los niveles de desarrollo, estos impactos son consistentes con una falta significativa de preparación para la variabilidad climática que se puede presentar en un futuro cercano; esto es más evidente en ciertos sectores de la población (Barros *et al.*, 2014).

2.7.1 Ecosistemas forestales y cambio climático

La causa principal de la pérdida de los ecosistemas forestales es la conversión de áreas naturales para incrementar la frontera agrícola y urbana. La afectación, también se origina por la introducción de especies exóticas invasoras, la sobreexplotación de los recursos naturales, problemas de contaminación entre otros. Los principales efectos por el cambio climático en las especies forestales es que sufren estrés hídrico, presentan mayor incidencia de plagas y enfermedades, muerte agresiva, disminuye su potencial de polinización, entre otros efectos adicionales.

Actualmente, los cambios más notables se observan en el norte de México, donde la superficie cubierta por bosques de coníferas se ha reducido, aunque pasa lo contrario para la selva seca, donde se pronostica la ocurrencia de condiciones más favorables (CONAFOR, 2013).

Los bosques juegan un papel crucial en la regulación del clima, debido a la capacidad que tienen para fijar y absorber el CO₂ mediante la fotosíntesis y

almacenarlo en sus tejidos (raíces, tronco, hojas), durante largos periodos de tiempo. Si se considera todo el carbono almacenado en los bosques (biomasa forestal, estrato herbáceo y arbustivo, madera muerta, hojarasca y suelo), la cantidad de carbono es mayor que todo el carbono presente en la atmósfera. Por esta razón es evidente que cualquier perturbación en estos ecosistemas, puede resultar en un cambio significativo en el ciclo del carbono (CONAFOR, 2013).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) es una entidad científica creada en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), se constituyó para proporcionar información objetiva, clara, equilibrada y neutral del estado de conocimientos sobre el cambio climático a los responsables políticos, tomadores de decisiones y a otros sectores interesados (IPCC, 1992).

2.7.2 Escenarios

Se ha empezado a analizar de forma más completa, las relaciones entre las emisiones futuras de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y diferentes hipótesis y proyecciones socioeconómicas. Se ha preparado una serie de escenarios actualizados, que se utilizarán en estudios de modelización, que describen una amplia gama de posibles emisiones futuras, en caso de que no se adopten medidas coordinadas para hacer frente al cambio climático (IPCC, 1992).

En el Quinto Informe del IPCC, se han definido cuatro nuevos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero, asumiendo diferentes niveles de esfuerzo de reducción de emisiones de GEI a nivel global, las denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Éstas se caracterizan por su Forzamiento Radiactivo (FR) total, para el año 2100 que oscila entre 2.6 y 8.5 W /m² (IPCC, 2013). Los escenarios se dividen en cuatro grupos: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5. Las cuatro trayectorias RCP comprenden un escenario en el que los esfuerzos en mitigación conducen a un nivel de

forzamiento muy bajo (RCP 2.6), dos escenarios de estabilización (RCP 4.5 y RCP 6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP 8.5).

Los nuevos RCP pueden contemplar los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del siglo XXI. Sin embargo, los escenarios de emisión utilizados en el AR4 (denominados SRES, de sus siglas en inglés) no contemplaban los efectos de las posibles políticas o acuerdos internacionales tendentes a mitigar las emisiones, representando posibles evoluciones socio-económicas sin restricciones en las emisiones (IPCC, 2013).

2.8 Calidad del Agua

La situación de la disponibilidad del agua, no refleja cabalmente la magnitud del problema que enfrentan las sociedades y los ecosistemas naturales. Entre los factores que reducen la calidad del agua se encuentran: la descarga continua de aguas de actividades domésticas, industriales y agropecuarias, sin un tratamiento que elimine los contaminantes que contienen, la calidad de las aguas superficiales y subterráneas se afecta negativamente, poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas (SEMARNAT, 2012).

La calidad del agua de un cuerpo superficial o subterráneo, depende de múltiples factores, algunos de los cuales la reducen directa o indirectamente, mientras que otros pueden revertir los efectos de la contaminación y, por lo tanto, mejorarla (De Alba & Martín, 2019). En México, la calidad del recurso hídrico ha sido medido sistemáticamente a través de la Red Nacional de Monitoreo (RNM) de la Comisión Nacional del Agua. La CONAGUA publica entre sus principales indicadores de calidad del agua, la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de sólidos suspendidos totales (SST). Otros parámetros que se registran en la mayoría de los sitios de la RNM son las concentraciones de nitratos y fosfatos, así como su dureza, oxígeno disuelto y pH (SEMARNAT, 2012).

2.8.1 Demanda bioquímica de oxígeno

Los ríos son de gran importancia, ya que son esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas y de otros sistemas naturales con los que están relacionados. Sin embargo, casi todos los ríos de México presentan algún tipo de deterioro, el 73% de los sistemas acuáticos muestran contaminación, que daña la salud de los ecosistemas (Mendoza *et al.*, 2014). Para la evaluación de la calidad de agua, se utilizan indicadores uno de ellos es el DBO5, durante un intervalo de tiempo específico (5 días), el cual es un indicador que se utiliza para medir la materia orgánica biodegradable; su incremento, provoca la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, que dañan a las comunidades biológicas de los ecosistemas acuáticos (CONAGUA & SEMARNAT, 2014).

Para cada tipo de calidad se determina su porcentaje, acorde a la siguiente clasificación: $DBO5 \leq 3$ excelente, $3 < DBO5 \leq 6$ buena calidad, $6 < DBO5 \leq 30$ aceptable, $30 < DBO5 \leq 120$ contaminada y $DBO5 > 120$ fuertemente contaminada. La DBO5 se mide en mg /l^{-1} y la calidad en porcentaje (SINA, 2018).

2.8.2 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales provienen principalmente de las aguas residuales y de la erosión de los suelos. El incremento en los niveles de SST en los cuerpos de agua provoca su turbidez y reduce la penetración de la luz solar, impidiendo el desarrollo de la vegetación acuática y afectando el resto de su biodiversidad (CONAGUA & SEMARNAT, 2014). Para cada tipo de calidad, se determina su porcentaje, acorde a la siguiente clasificación: $SST \leq 25$ excelente, $25 < SST \leq 75$ buena calidad, $75 < SST \leq 150$ aceptable, $150 < SST \leq 400$ contaminada y $SST > 400$ fuertemente contaminada. Los SST se miden en mg /l^{-1} y la calidad en porcentaje (SINA, 2018).

2.9 Áreas Naturales Protegidas

En México, existen diversos tipos de áreas protegidas: federales, estatales, municipales, comunitarias, ejidales y privadas. Las Áreas Naturales Protegidas

(ANP) son áreas bajo la administración de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), (CONABIO, 2020).

La CONANP administra actualmente 182 áreas naturales de carácter federal que representan 90'839,521.55 ha y apoya 354 Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación, con una superficie de 551,206.12 ha. De la superficie total de Áreas Naturales Protegidas, 21, 886,691 ha corresponden a superficie terrestre protegida, lo que representa el 11.14% de la superficie terrestre nacional. Por lo que respecta a superficie marina se protegen 69, 458,748 ha, lo que corresponde al 22.05% de la superficie marina del territorio nacional (CONANP, 2020). Las categorías y distribución de las ANP se describen en la (Figura 5).

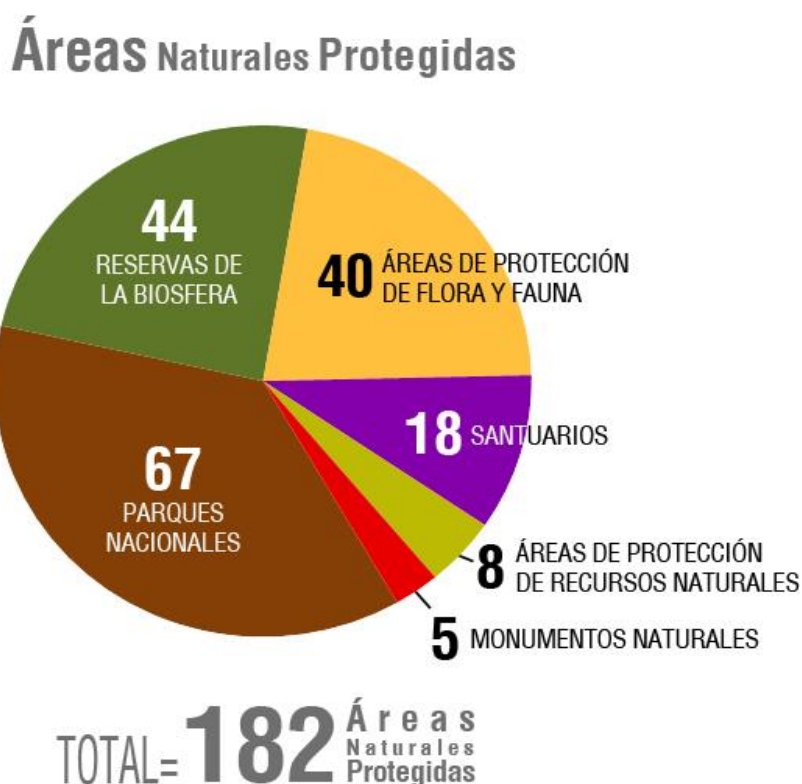


Figura 5. Categorías y Distribución de las ANP en México.

Fuente: http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm

Las ANP albergan, protegen y conservan ecosistemas de alto valor biológico, al mismo tiempo que contribuyen a la mitigación y reducción de los efectos del cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero, cooperando así en el control del calentamiento global. La (CONANP) está comprometida en dar respuestas a las demandas que implican este fenómeno. La Ley General de Cambio Climático (LGCC) y el Programa Especial de Cambio Climático (PECC), reconoce la conservación de los ecosistemas y la creación y administración de las ANP como estrategias de adaptación al cambio climático. Desde el enfoque conservacionista que ofrecen las ANP, es posible crear nuevas estrategias para mejorar la calidad de vida del ser humano (Del Mazo, 2018).

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Área de estudio

La república mexicana está situada en el continente americano en el hemisferio norte; parte de su territorio se encuentra en América del Norte y el resto en América Central (Figura 6). México se extiende entre los paralelos 14° 32' 27" latitud norte, en la desembocadura del río Suchiate, frontera con Guatemala. en el paralelo 32° 43' 06" latitud norte, que pasa por la confluencia del río Gila con el Colorado; así mismo está comprendido entre las longitudes de 118° 22' 00" y 86° 42' 36" longitud oeste de Greenwich, en el extremo suroeste de Isla mujeres (Tamayo, 1993). El área comprende la república mexicana con una superficie de 1, 973,000 Km².

Por su amplia biodiversidad, México se encuentra en los primeros lugares en las listas de especies de flora y fauna, con 26 mil especies de plantas, 707 especies de reptiles, 439 de mamíferos, 282 especies de anfibios (SEMARNAT, 1999). México se encuentra entre los países con mayor biodiversidad del planeta, junto con Australia, Brasil, China, Colombia, Congo, Ecuador, Sudáfrica y Venezuela (Mittermeier, Goettsch, & Robles, 1997).

Los ecosistemas tropicales del país contribuyen también de manera importante, los bosques templados de pino y encino de México son los más diversos del planeta, en ellos podemos encontrar la mayor riqueza de especies de pinos con 55 especies (85% son endémicas), y de encinos con 138 especies (los segundos más diversos del mundo, pues 70% de sus especies son endémicas (Mittermeier & Goettsch, 1992).

3.1.2 Vegetación

Los principales tipos de vegetación que se reconocen en México de acuerdo a la clasificación de Rzedowski (2006) son:

- Bosque tropical perennifolio
- Bosque tropical subcaducifolio
- Bosque tropical caducifolio

- Bosque espinoso
- Matorral xerófilo
- Pastizal
- Bosque de Quercus
- Bosque de coníferas
- Bosque mesófilo de montaña
- Vegetación acuática y subacuática

3.1.3 Suelos

Debido a su ubicación geográfica, a su topografía y a sus climas, los suelos de México son complejos, existen 25 de las 30 unidades de suelo reconocidas por la FAO, UNESCO y la ISRIC. Los leptosoles, regosoles y calcisoles son los suelos de más amplia distribución nacional, cubriendo cerca del el 60.7% de la superficie del país, son por lo general suelos someros y con poco desarrollo, lo que dificulta su aprovechamiento agrícola. Los suelos fértiles y más explotados (feozems y vertisoles) ocupan el 18% de la superficie del país (Cruz *et al.*, 2007). Litosol (suelo de piedra) son suelos muy delgados, con espesores menores a los 10 cm. Xerosol (suelo de zona seca o árida). Yermosol (desértico, desolado). Son suelos de zonas muy secas o desérticas casi sin materia orgánica, semejantes a los xerosoles, de los que difieren sólo en el contenido de materia orgánica en el horizonte superficial.

3.1.4 Clima

En México el clima está determinado por varios factores, entre los que se encuentran la altitud, la latitud y la distribución existente de tierra y agua, por mencionar algunos. El país cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales, de manera muy general pueden clasificarse según su temperatura, en cálido, templado y frío; y de acuerdo con la humedad existente en el medio, en húmedo, subhúmedo y seco.

Existen en nuestro país, especialmente en su mitad septentrional, amplias regiones con climas muy secos que cubren alrededor del 30% del territorio nacional y climas

secos que cubren el 21%. En estas zonas la cantidad de lluvia fluctúa entre 300 y 500 mm, pero existen zonas que registran menos de 200 mm anuales (García, 1988).

El clima muy seco afecta al 21% del país donde se registran temperaturas medias de 18 a 22 °C, con casos extremos de más de 26 °C. Las precipitaciones anuales son muy escasas, entre 100 y 300 mm. El clima cálido se subdivide en cálido húmedo y cálido subhúmedo. El primero ocupa el 5% del territorio nacional y se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 22 y 26 °C y una precipitación en el rango de 2000 a 4000 mm anuales.

El clima cálido subhúmedo se encuentra en el 23% del país, donde la precipitación fluctúa entre 1000 a 2000 mm anuales y la temperatura media entre 22 y 26 °C, con regiones en donde superan los 26 °C. Finalmente, el clima templado se divide en húmedo y subhúmedo. En el primero, que afecta al 3% del país, registra temperatura media de entre 18 a 22 °C y precipitación anual de 2000 a 4000 mm. El clima templado subhúmedo se presenta en el 20% del país, con una temperatura entre 10 y 18 °C y entre 18 a 22 °C, según la zona (incluso, en algunas regiones, puede disminuir a menos de 10 °C). La precipitación fluctúa entre 600 a 1000 mm en promedio durante el año.

3.1.5 Hidrología

Las regiones hidrológicas representan los límites naturales de las grandes cuencas de México y se emplean para el cálculo del agua renovable. Las cuencas están estrechamente relacionada con el ciclo hidrológico, una proporción importante de la precipitación pluvial regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración, mientras que el resto escurre por los ríos y arroyos delimitados por las cuencas hidrográficas, o bien se infiltra en los acuíferos. Las cuencas son unidades del terreno, definidas por la división natural de las aguas debida a la conformación del relieve. La CONAGUA ha definido 731 cuencas hidrológicas. Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas (RH) (CONAGUA, 2015).

Los ríos y arroyos de México constituyen una red hidrográfica de 633,000 km de longitud. Por los cauces de los 51 ríos principales fluye el 87% del escurrimiento superficial de la república y sus cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país. Por la superficie que abarcan, destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, y por su longitud, los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. Los ríos Lerma, Nazas y Aguanaval pertenecen a la vertiente interior. Dos tercios del escurrimiento superficial se dan en los cauces de siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá, a la vez que sus cuencas presentan el 22% de la superficie de nuestro país (CONAGUA, 2016).

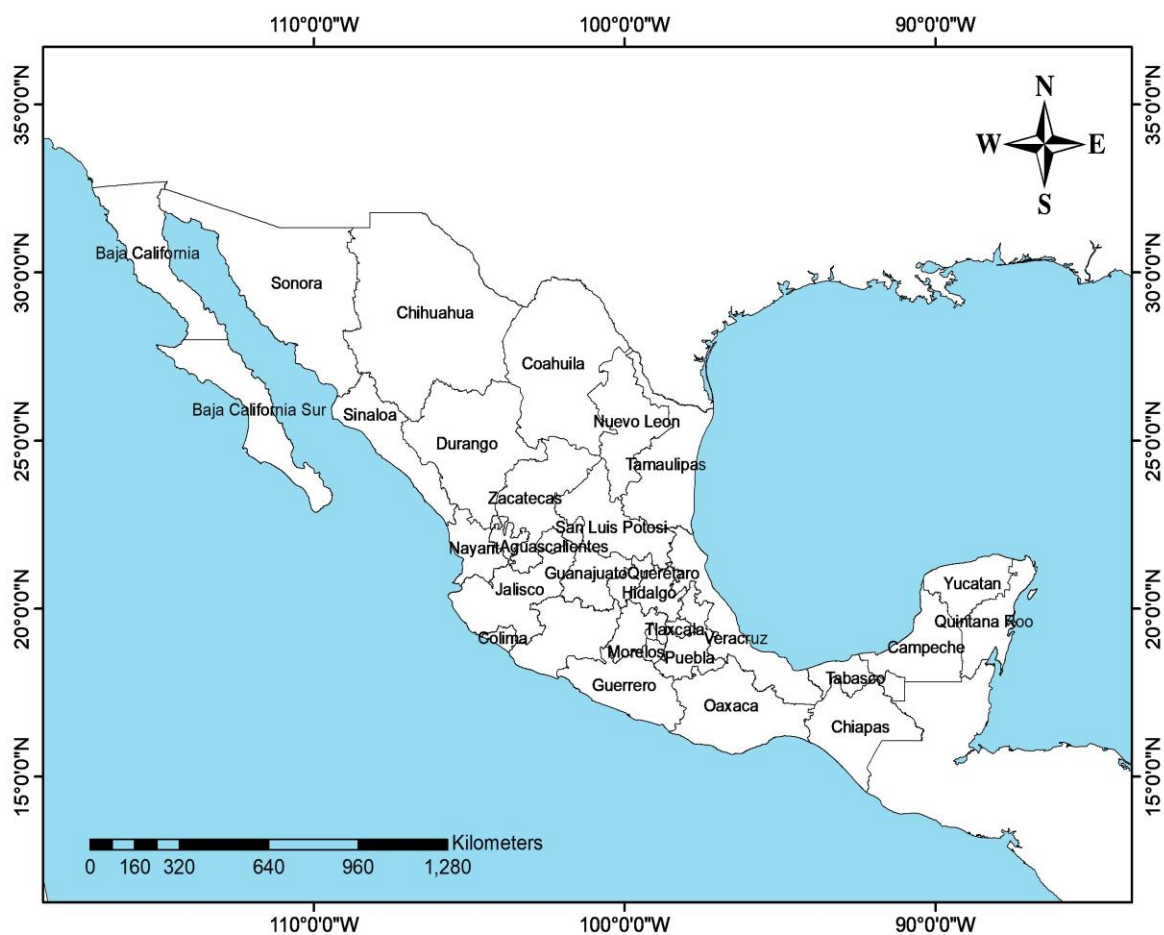


Figura 6. Delimitación geográfica de la República Mexicana.

3.2 Registros de presencia del ahuehuete

Con el objetivo de tener información confiable para generar los modelos de distribución de ahuehuete, se recurrió a diversas fuentes de registro de presencia de la especie, tales como: la base de datos del Herbario Nacional (MEXU) (UNAM, 2018) y base de datos de Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (GBIF, 2018), datos georreferenciados de campo derivados de expediciones dendrocronológicas desarrolladas por el Laboratorio Nacional de Dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA y del inventario de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad de CONABIO, que contiene diferentes colecciones nacionales e internacionales (REMIB, 2015). Los registros fueron depurados tomando en consideración diversos aspectos como, duplicado de datos, registros mal georreferenciados y datos fuera del rango óptimo de la especie.

La depuración de registros repetidos, se realizó en una hoja de cálculo de la paquetería Excel, ya que, al hacer uso de diferentes fuentes de información de registros, se tienden a proyectar incidencias con igual latitud y longitud. La eliminación de datos mal georreferenciados, se realizó a través de un Sistema de Información Geográfica mediante el programa ArcGis versión 10.3, la cual consistió en proyectar todos los puntos de presencia y se procedió a eliminar aquellos fuera del rango continental. Finalmente, para la última etapa de depuración se realizó la eliminación de sesgo por muestreo (alta incidencia de observaciones en un área pequeña) lo que podría afectar el desempeño del modelo, dejando un solo registro por celda (1 km²). La depuración se llevó a cabo con el programa NicheToolBox de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Osorio *et al.*, 2018). La base total de datos se dividió en 80% de los registros para la generación del modelo y el 20% para la validación del mismo.

3.2.1 Variables de clima

Las variables de clima se descargaron del sistema Wordclim el cual consiste en un repositorio con una base de datos libre de variables climáticas, que ha permitido desarrollar trabajos sobre biogeografía, macroecología y cambio climático. Este sitio permite la descarga de 19 variables climáticas, a diferentes resoluciones espaciales y en formato raster (Hijmans *et al.*, 2005). Se emplearon las capas bioclimáticas a

30 segundos ($\sim 1\text{km}^2$) de resolución espacial obtenidas del portal WorldClim Versión 2.0 donde las capas raster de clima cuentan con información sintetizada de 1970 a 2000 (Fick & Hijmans, 2017) a través del portal <http://worldclim.org/version2>. La información climática disponible de WorldClim se muestra en el (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables Bioclimáticas disponibles en el modelo WorldClim.

Variable	Descripción	Unidades
BIO1	Temperatura media anual	°C
BIO2	Rango medio diario	°C
BIO3	Isotermalidad	Adimensional
BIO4	Estacionalidad de temperatura	°C
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido	°C
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	°C
BIO7	Rango de la temperatura anual	°C
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco	°C
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido	°C
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío	°C
BIO12	Precipitación anual	Mm
BIO13	Precipitación del mes más húmedo	Mm
BIO14	Precipitación del mes más seco	Mm
BIO15	Estacionalidad de precipitación	Adimensional
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo	Mm
BIO17	Precipitación del trimestre más seco	Mm
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido	Mm
BIO19	Precipitación del trimestre más Frío	Mm

3.2.2 Variables edafológicas

Las variables edafológicas se obtuvieron del programa SoilGrids el cual consiste en un sistema de mapeo digital global de suelo, que utiliza métodos de aprendizaje automático, para mapear la distribución espacial de las propiedades del suelo en todo el mundo, es una plataforma de uso libre (ISRIC, 2019). Los resultados de SoilGrids son mapas globales de propiedades del suelo en seis intervalos de profundidad estándar (de acuerdo con el grupo de trabajo Global Soil Map IUSS y sus especificaciones) con una resolución espacial de 250 m.

La recopilación de las variables de suelo, se obtuvieron del sistema de mapeo de SoilGrids, las variables están divididas en características de sitio, propiedades físicas y propiedades químicas de suelo, carbono orgánico, densidad aparente, capacidad de Intercambio catiónico, pH, fragmentos gruesos (60cm), además de las predicciones de profundidad al lecho de roca (Cuadro 2). La distribución de las clases de suelo están basadas en la Base de Referencia Mundial (WRB) (SoilGrids, 2018). Estas variables, al igual que las climáticas, se homologaron a escala de 1 km, de igual manera se transformaron a la extensión “.asc”, mediante el programa Arcgis 10.3, para poder utilizarlas en MaxEnt.

Cuadro 2. Variables edafológicas derivadas del sistema de mapeo SoilGrids.

Variable	Unidades
Profundidad a la roca madre	cm
Profundidad absoluta a la roca madre	cm
Almacén de carbono orgánico del suelo	Ton * ha ⁻¹
Densidad aparente	Km * m ⁻³
Contenido de arcilla	%
Contenido de limo	%
Contenido de arena	%
Fragmentos gruesos volumétricos	%
Capacidad de intercambio catiónico	Cmol * km ⁻¹
Contenido de carbono orgánico	g * kg ⁻¹
pH	-

3.2.3 Calidad del agua

La información hídrica en México se encuentra integrado en una base de datos denominado SINA que consiste en una base de datos estadística y geográfica, que presenta información del sector hídrico en México a través de reportes gráficos y mapas (Abedrop, 2016). En la base de datos de SINA se obtuvieron las variables de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 2017) y Sólidos Suspendidos Totales (SST 2017) (CONAGUA, 2019). Las variables se proyectaron en un sistema de información geográfica, de acuerdo a la localización de la estación de monitoreo y se generó una capa raster mediante interpolación de datos a través del proceso IDW en Arcgis; la resolución espacial fue consistente con las demás variables.

3.2.4 Topografía

Como base de datos cartográfica, se utilizó el modelo digital de elevación (m.s.n.m.) con una resolución de 120 m, que se obtuvo del Continuo de Elevaciones Mexicano, versión 3.0 del (CEM) (INEGI, 2013). Mediante el software ArcGIS se generaron las capas topográficas de pendiente (%) y orientación (°), estas variables posteriormente se homologaron a una resolución espacial de 1 km para que tuvieran la misma referencia geográfica con las de más variables de clima y suelo.

3.3 Polígono Mínimo Convexo

El polígono mínimo convexo, forma parte de los análisis de geometría mínima de delimitación incluidos en la mayoría de los sistemas de información geográfica. Entre las aplicaciones, se encuentran los análisis de biodiversidad para estudios de distribución de especies de flora y fauna (Goodman & O'Rourke, 2004). La generación del polígono mínimo convexo, ayudó a delimitar la superficie real de presencia de la especie con la finalidad de calibrar el modelo mediante los puntos de presencia y las variables que inciden en la especie. El polígono se realizó con ayuda de la herramienta de geometría mínima de delimitación de ArcToolBox en ArcGIS. La herramienta se encuentra en **Data Management Tools> Features> Minimum Bounding Geometry**.

3.4 Variables correlacionadas

Para un modelo de distribución de especies, es de vital importancia evitar variables que estén altamente inter-correlacionadas (Dormann *et al.*, 2012). Para evitar este problema de multicolinealidad, se desarrolló una matriz de correlación de Pearson mediante un sistema de información geográfica de todas las variables extrayendo el valor de acuerdo a un *grid* de 10 000 puntos de fondo, eliminándose aquellas variables que tuvieran una correlación positiva o negativa ($r > 0.70$, $p < 0.05$). En esta etapa de depuración de variables, se consideró también un criterio ecológico, es decir, seleccionar las variables que acorde a la ecología natural de la especie, fueran importantes en su desarrollo y establecimiento.

3.5 Modelado de Nicho

Se empleó el modelo de máxima entropía MaxEnt versión 3.4.1 (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006) el cual fue elegido por que es uno de los métodos más empleados por la comunidad científica, ya que solamente requiere datos de presencia de la especie (Elith *et al.*, 2006). Una apropiada calibración reduce la complejidad del modelo (Warren & Seifert, 2011), dicha calibración se llevó a cabo empleando la librería ENMeval (Muscarella *et al.*, 2014) realizado en el software R 3.5.3 (R Core Team, 2019) empleando el 80 % de los registros y el 25% para validación. El modelo se computó como logístico y se evaluó mediante el Área Bajo la curva (AUC), las variables con mayor importancia tanto climáticas, topográficas y edafológicas. La calibración se evaluó mediante el coeficiente estandarizado del criterio de información Akaike (AICc), el cual brinda información del modelo (Martínez *et al.*, 2009) y se seleccionan los parámetros con el valor más bajo de AICc para un mejor ajuste.

De la información obtenida de la calibración por la librería ENMeval, fue proyectada para la zona de estudio, considerando las variables con mayor importancia en el hábitat de la especie, se llevaron a cabo 1000 iteraciones, considerando 80% de los datos de presencia para efectos de entrenamiento, y el resto para validación, con salida logística cuyo formato permite una interpretación como estimación de

idoneidad (de 0 a 1) (Phillips & Dudík, 2008), el número de repeticiones fue de 100 obteniendo así, el modelo de nicho ecológico del ahuehuete (Dambach & Rödder, 2011).

3.5.1 Programa de modelaje MaxEnt

El modelo de nicho ecológico se realizó en Maxent versión 3.4.1, los datos se deben importar como un archivo (.csv) y debe incluir tres campos fijos (columnas) descritas de la siguiente manera: especies, longitud y latitud. En el archivo se puede generar de una base de datos construida en Excel y guardada en formato (.csv). En cuanto a las variables de clima de WorldClim se encuentran en formato (.tif), las variables edafológicas de SoilGrids (.tif) del Continuo de Elevaciones Mexicano son elevación, pendiente, orientación y topografía (.bil) estas variables fueron transformadas a archivo asc., ya que es el formato que admite MaxEnt para poder ejecutar el programa. Para convertir las variables a ASCII se utilizó la herramienta **Conversion Tools > From Raster > Raster to ASCII** que se encuentra en ArcToolBox en ArcGIS (Figura 7).

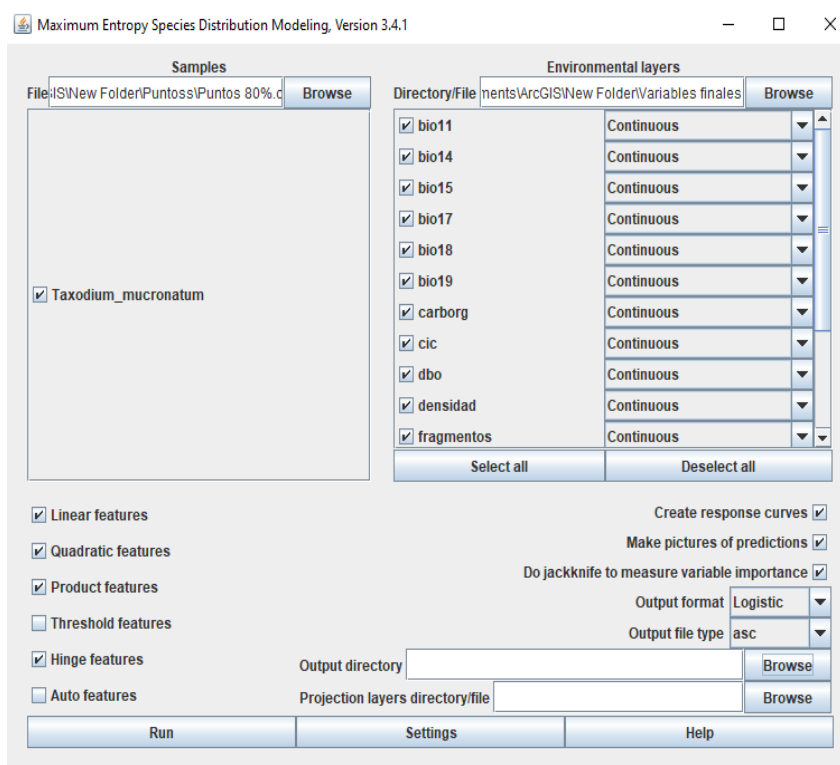


Figura 7. Interface gráfica para correr el programa MaxEnt.

Para ejecutar el programa primero se insertan los datos, que involucran las coordenadas de distribución que previamente generamos en un formato con extensión de archivo “.csv”, ya que es el formato que admite MaxEnt. Posteriormente se incluyen las variables, que son parte importante para el modelo, el formato de archivo reconocido para estas variables es formato “.ascii”, después, procedemos a seleccionar los demás parámetros requeridos para ejecutar el programa. El programa comenzará a analizar los datos y generará el modelo (Figura 8).

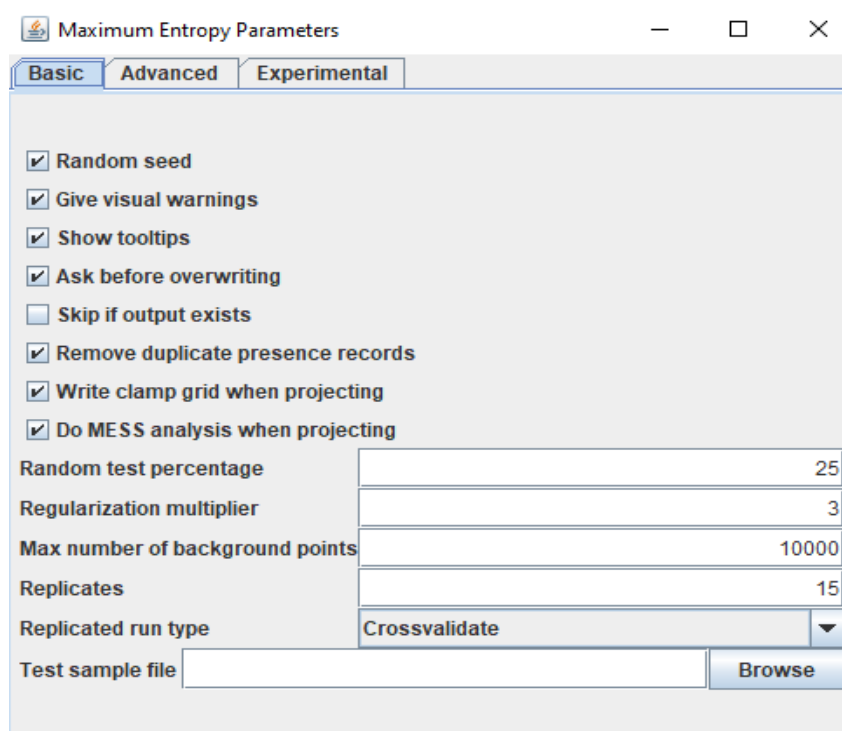


Figura 8. Ventana de configuración de las opciones de MaxEnt.

En la imagen de configuración Basic, seleccionamos el Random seed, el porcentaje aleatorio para el test fue del 25%, el multiplicador de regularización de 3 (obtenido del proceso de calibración) y las réplicas (repeticiones) 15; posteriormente se configuró el algoritmo para realizar el proceso interno llamado *Crossvalidate*, donde se obtiene réplicas del modelo igual al número de datos obtenidos. En Advanced para el entrenamiento de la especie del ahuehete consistió de 1000 iteraciones (**Maximum iterations**).

3.6 Evaluación de los modelos de distribución

El análisis del área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés), de las características operativas del receptor (ROC, por sus siglas en inglés), se han empleado como un indicador del desempeño de evaluación para clasificar correctamente las presencias de las ausencias (Peterson, Papes, & Soberón, 2008), mediante una prueba dependiente de umbral conocida como matriz de confusión (Lobo, Jiménez, & Real, 2008). Un ejemplo de curva ROC se presenta en la (Figura9).

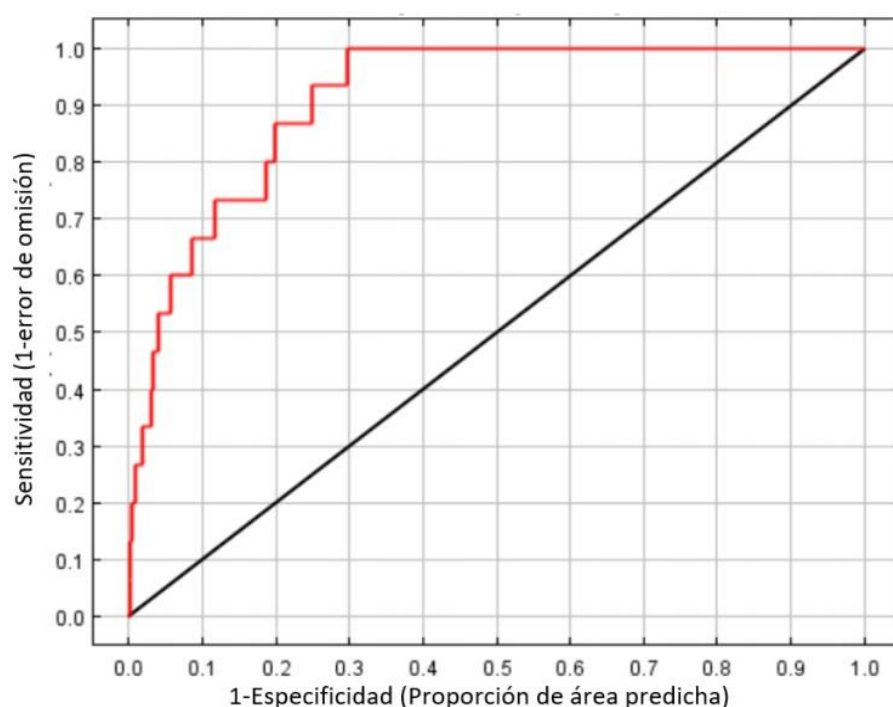


Figura 9. Ejemplo de curva ROC generada a partir del programa MaxEnt 3.4.0. Los modelos con un AUC > 0.5, tienen una predictibilidad mejor que lo esperado al azar.

Sin embargo, es de notar que la utilidad de los análisis ROC ha sido cuestionado debido a los algoritmos que utiliza, consiste en datos de solo presencia, ya que en teoría este análisis también requiere datos de ausencias verdaderas (y no solo de pseudoausencias), además de que, pondera igual los errores de omisión que los de comisión (Peterson, Papes, & Soberón, 2008).

Por tal motivo, los modelos finales se validaron también por medio del análisis ROC parcial, que ha sido diseñado para tratar de subsanar estas deficiencias, a través de la rutina de validación NicheToolBox de (Osorio *et al.*, 2018).

La clasificación de la precisión del modelo tomando en cuenta el AUC es: 0.50-0.60 = insuficiente; 0.60-0.70 = pobre; 0.70-0.80 = promedio; 0.80-0.90 = bueno; 0.90-1 = excelente (Araújo & Guisan, 2006).

Finalmente, para una mejor representación de las áreas idóneas, el modelo fue reclasificado para obtener un mapa de distribución de la especie, tomando en cuenta las variables edafológicas, bioclimáticas y topográficas. La superficie se dividió en regiones tomando un umbral de 5-10. El mapa fue utilizado para estimar la distribución del ahuehuete en México mediante ArcGis versión 10.3.

3.7 Variables climáticas bajo cambio climático

Para determinar la superficie potencial de ahuehuete considerando escenarios de cambio climático, se transfirieron los mismos parámetros de la distribución actual en la modelación a futuro y se, se trabajaron con las mismas variables climáticas, edafológicas, topográficas y calidad de agua. Se descargó de la plataforma Worldclim, para los períodos de tiempo: 2050 (promedio para 2041-2060) y 2070 (promedio para 2061-2080) de la página http://www.worldclim.org/cmip5_2.5m. Los escenarios de clima futuro que se emplearon para este estudio corresponden al RCP 4.5, utilizando cuatro modelos generales MPIESM-LR (Alemania), GFDL-CM3 (Estados Unidos), HADGEM2-ES (Reino Unido). Para evaluar el impacto de cambio climático en la idoneidad del hábitat se utilizó la fórmula de tipo de cambio (Gutiérrez & Trejo, 2014).

$$\% \text{ de cambio} = [(S1 - S0) / S0] * 100$$

Donde:

S0, es la superficie total del área de estudio, de acuerdo con el escenario base.

S1, es la superficie total ocupada en el área de estudio bajo condiciones de cambio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se reunieron 1197 registros de ahuehuate estos fueron depurados tomando en cuenta diversos aspectos como ubicación geográfica y condiciones ecológicas. Obteniendo 959 registros depurados, en base a este resultado se trabajó para desarrollar el modelo en MaxEnt. Las variables bioclimáticas, topográficas, edafológicas y de calidad de agua analizadas para la generación del modelo, que representan el área idónea para la presencia de la especie después del proceso de depuración, se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Variables analizadas para el modelo que representan el área de idoneidad de distribución del ahuehuate en México.

Variable	Descripción
BIO11	Temperatura del trimestre más frío
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de precipitación
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío
MDE	Modelo Digital de elevación
%	Pendiente
°	Orientación
SST	Sólidos Suspendedos Totales
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
Ton * ha⁻¹	Almacén de carbono orgánico del suelo
Cmol * km⁻¹	Capacidad de Intercambio Catiónico
Cm	Profundidad absoluta a la roca madre
Km * m³	Densidad aparente
%	Fragmentos gruesos volumétricos

4.1 Área bajo la curva (AUC)

En la validación de los modelos proporcionada por MaxEnt, se seleccionó el modelo dos, que presentó un mejor desempeño. El área bajo la curva (AUC) de la característica de operación de receptor (ROC) del modelo de distribución, el modelo puede ser considerado como excelente de acuerdo a Araújo y Guisan (2006), para los datos de entrenamiento training data (AUC=0.915) y análisis test data (AUC=0.926). Ambos resultados de AUC, muestran que las variables predictivas son aceptables para representar la distribución (Figura 10). Esta prueba pondera los valores de predicción para las presencias con los valores de las ausencias, en las diferentes probabilidades de los modelos (Swets, 1988).

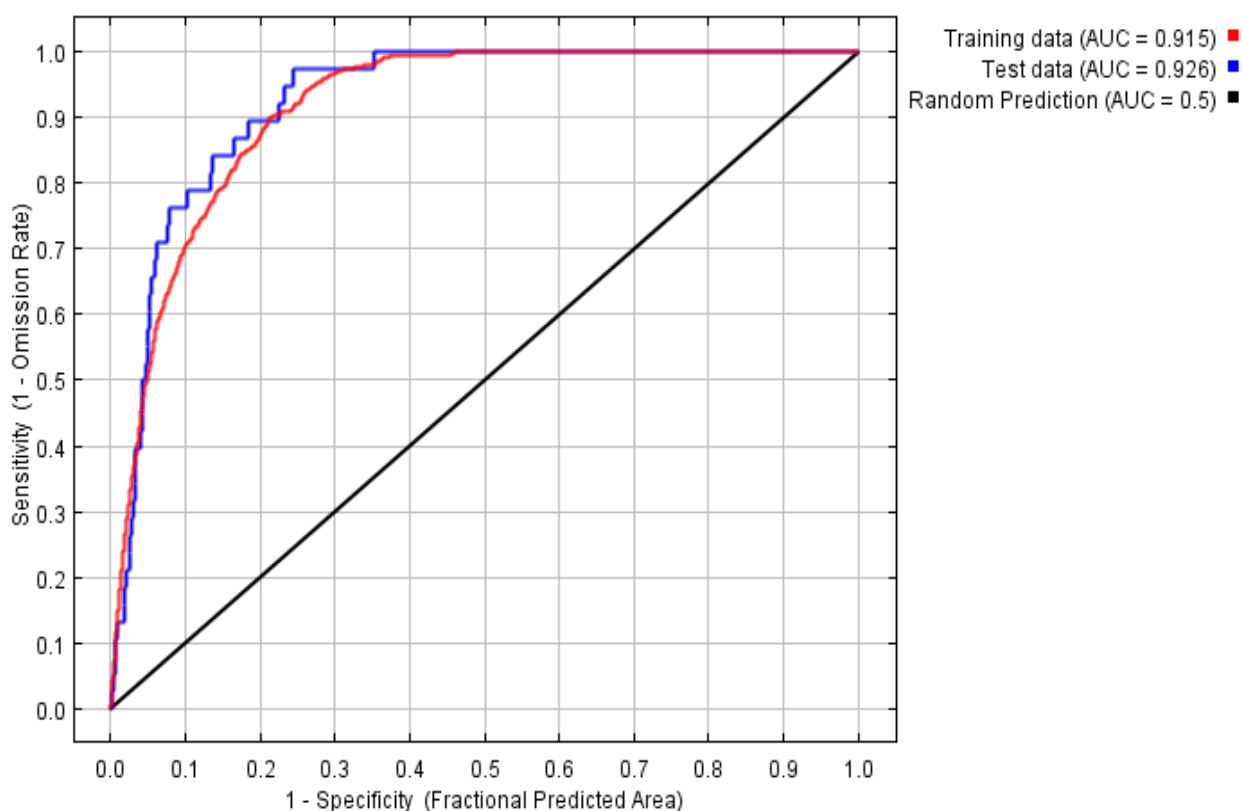


Figura 10. Análisis de sensibilidad, curva ROC y área bajo la curva (AUC) para los modelos predictivos, utilizando MaxEnt para la distribución de ahuehuate.

Las variables por valor de importancia analizadas en el modelo de MaxEnt se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Porcentaje de contribución de variables analizadas del modelo de MaxEnt.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
BIO11	25	30.4
BIO18	23.5	3.5
MDE	17.2	21.5
DBO5	8.6	2.4
BIO19	6.1	14.9
SST	4.6	1.7
BIO15	3.6	7.9
Profundidad absoluta de la roca madre	2.9	3.4
CIC	2.7	4.4
BIO14	2.2	1.6
Pendiente	1.7	0.3
Fragmentos gruesos volumétricos	1	2
BIO17	0.5	4.7
Densidad Aparente	0.2	0.5
Carbón orgánico	0.2	0.7
Orientación	0.1	0.1

4.2 Variables determinantes para la distribución de ahuehuete

El resultado del modelo de MaxEnt presentó las variables más importantes de acuerdo al porcentaje de contribución para el modelo que son: BIO11 temperatura del trimestre más frío (25%), BIO18 precipitación del trimestre más cálido, (23.5%), Modelo de Elevación (17.2%), Demanda Bioquímica de Oxígeno (8.6%), BIO19 precipitación del trimestre más frío (6.1%), Solidos Suspendidos Totales (4.6%), BIO15 Estacionalidad de precipitación (3.6%), lo que totaliza 88.6% (Figura 11).

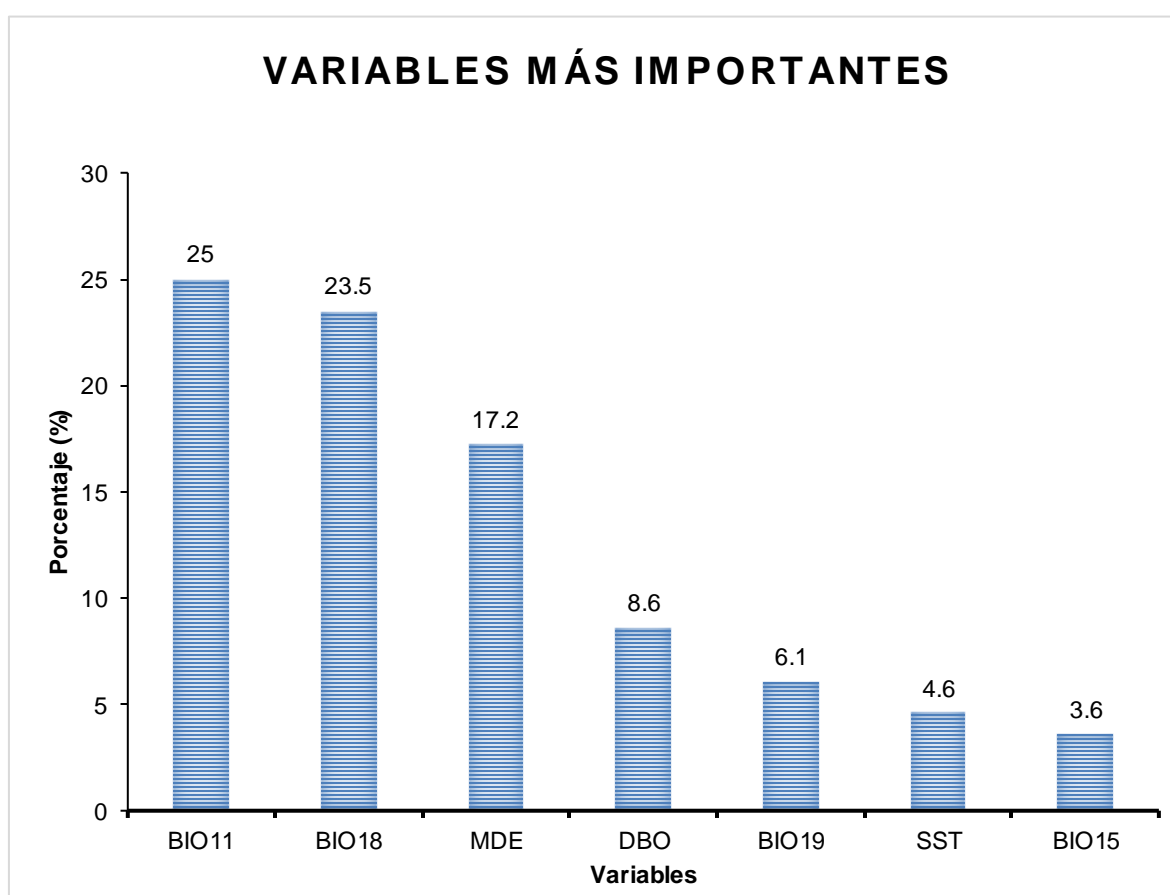


Figura 11. Gráfica que muestra las variables más importantes para el modelo de distribución de ahuehuete.

4.3 Prueba Jacknife para la evaluación de la importancia relativa de las variables

La contribución de cada variable se muestra en la (Figura 12) donde la barra azul rey, muestra el comportamiento cuando la variable se utiliza de manera aislada o por sí sola; la barra azul claro, señala la disminución de la ganancia cuando se excluye o se omite la variable, y la roja crea en modelo donde se usan todas las variables. En la imagen se muestra el resultado de la variable ambiental BIO11, la cual muestra mayor ganancia cuando se utiliza de forma aislada, que por lo tanto parece tener la información más útil por sí misma. La variable ambiental que disminuye la ganancia cuando se omite es MDE, que por lo tanto parece tener mayor información que no está presente en las otras variables.

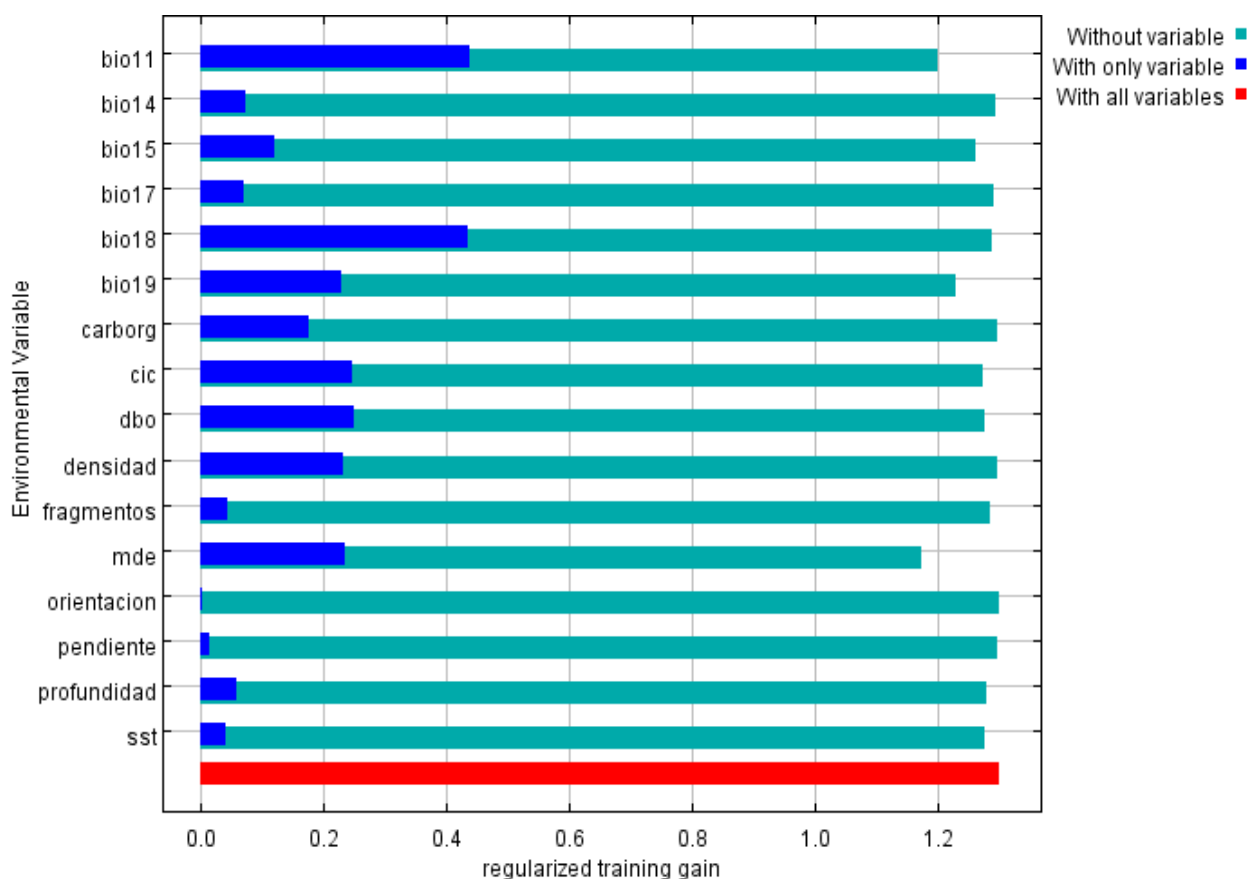


Figura 12. Resultados de la prueba de jacknife de variables de importancia para ahuehuete.

4.4 Mapa de distribución actual

Las áreas donde habita el ahuehuete se le conocen como bosques de galería, vegetación riparia; vegetación que se desarrolla en los márgenes de ríos y arroyos permanentes y semipermanentes. Fisonómica y estructuralmente se trata de un conjunto muy heterogéneo de comunidades, diferente a la vegetación que lo rodea. Géneros típicos incluyen: *Platanus*, *Populus*, *Salix*, *Taxodium* (amplia distribución); *Astianthus*, *Ficus*, *Bambusa*, *Inga*, *Pachira* (clima tropical) y *Acer*, *Alnus*, *Carya*, *Fraxinus* (clima templado) (Rzedowski, 2006). En el mapa que se generó muestra que la distribución de la especie se concentra en el centro y sur del país, donde se presenta el hábitat idóneo para el desarrollo del ahuehuete (Figura 13).

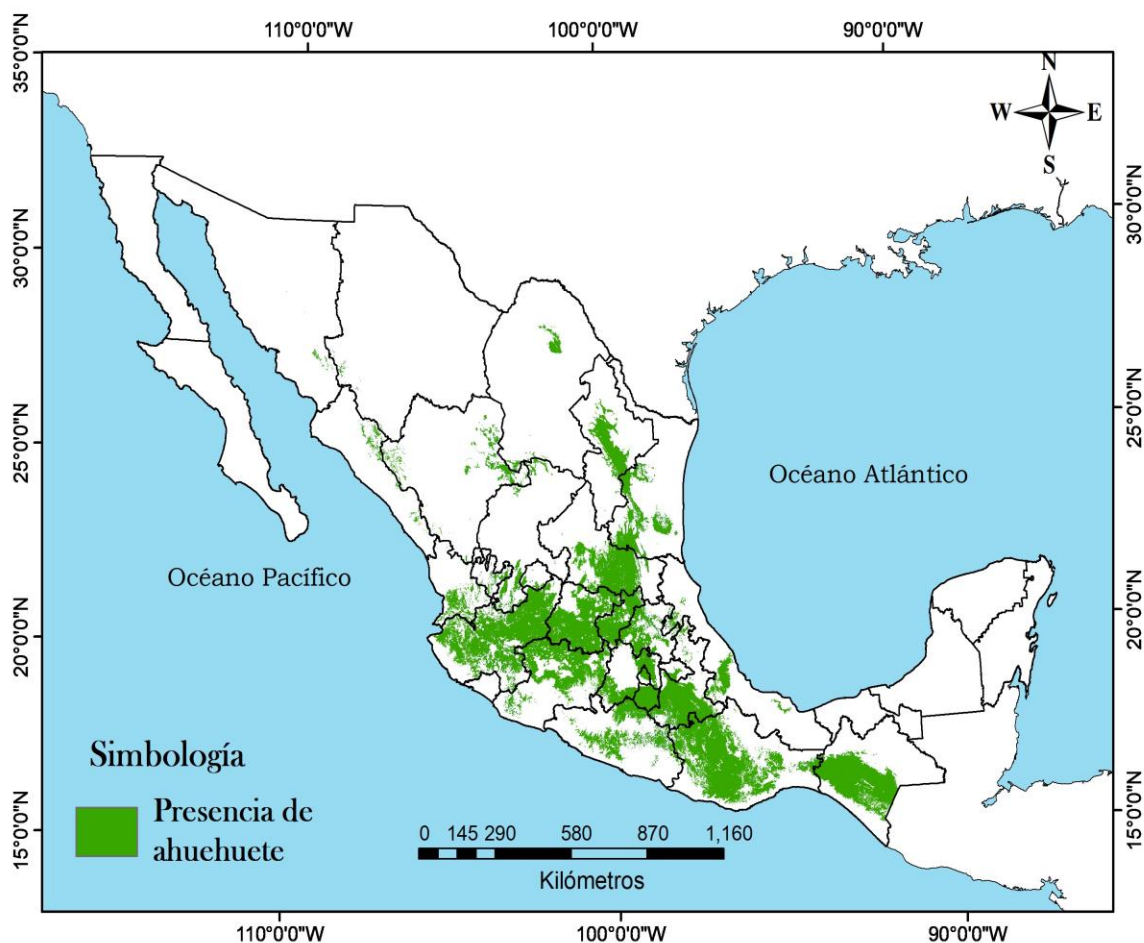


Figura 13. Distribución de ahuehuete en México en una superficie estimada de 289,769.11 km².

4.4.1 Modelo de distribución

En el mapa de distribución de CONABIO, se muestran las áreas de presencia de ahuehuate en México con una superficie de 157,057.57 km², se desconoce cómo se realizó dicha distribución, pero se tomó de ejemplo para compararlo con el modelo que se generó para la presente tesis, algunas áreas concuerdan con el mapa de distribución que se realizó para el modelo de distribución de ahuehuate a nivel nacional.

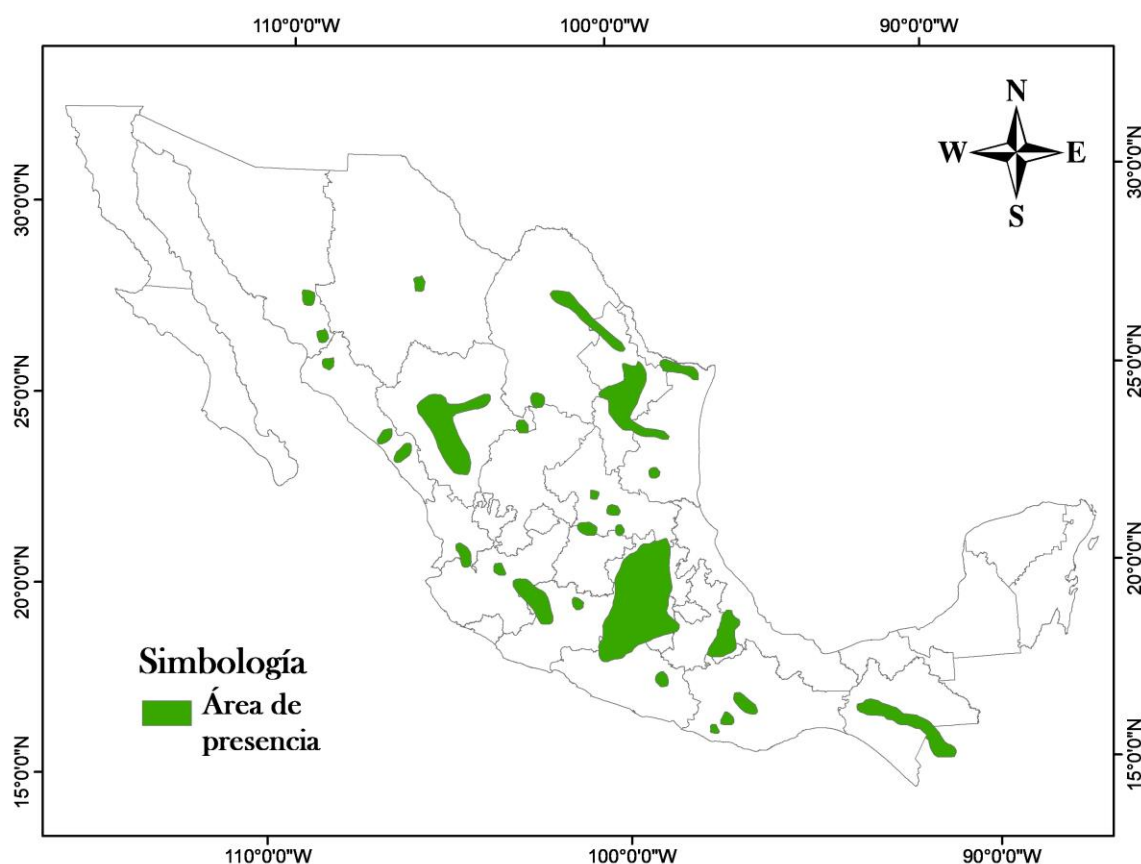


Figura 14. Distribución del ahuehuate en México generado por CONABIO.

En diversos estados de México se encuentra ahuehuete en las Áreas Naturales Protegidas, el estudio busca la conservación del ahuehuete, lamentablemente las ANP que se encuentran en el país, los bosques de galería no tienen la suficiente importancia para conservación de la especie, a pesar de que se utilizan como lugares recreativos. Estos ecosistemas brindan diversos servicios ambientales, además de que las comunidades vegetales ofrecen recursos alimenticios abundantes y diversificados para la comunidad de animales (Ceccon, 2003). Los bosques ribereños se consideran la base de la cadena alimentaria de los cuerpos de agua.

Los ecosistemas forestales son susceptibles al cambio climático ya que puede afectar la distribución de especies, esto provoca que las especies puedan salirse de sus hábitats o de áreas protegidas, por tal motivo es importante realizar predicciones sobre los cambios de las especies forestales y buscar la conservación de ellas. El ser humano es un factor impórtate que influye en el daño y deterioro de estas zonas, al contaminarlas con desechos de diversa índole, daños directamente al arbolado y desvíos de agua con fines agropecuarios, sin que se les asegure un gasto ecológico (De la lanza *et al.*, 2012; Villanueva *et al.*, 2013).

Los ecosistemas son importantes porque proporcionan servicios ambientales esenciales, como la captura y almacenamiento de agua en acuíferos, lagos y ríos; la captura de bióxido de carbono que provoca la actividad humana, la estabilidad climática para la regulación del ciclo hídrico, regulación de la humedad, temperatura del aire, el mantenimiento de suelos fértiles, control de deslaves y arrastres masivos de suelo (CONABIO, 2006). Es necesario tomar conciencia sobre la conservación de especies y proteger la diversidad biológica, se debe aprender a manejar de forma sustentable en capital natural.

4.4.2 Regionalización

En la región norte de México los estados donde se encuentran registros de ahuehuete son: Coahuila 2,457.78 km², Nuevo León 9,346.38 km², Tamaulipas 12,205.80 km², Sonora 326.03 km², Sinaloa 1,722.22 km², Durango 4,934 km² y Chihuahua 282 km² con una superficie total de 31,296.52 km².

El estado de Chihuahua podría haber presencia de la especie, esto se debe a que influyen varios factores uno de ellos podría ser porque climáticamente es favorable para el desarrollo de la especie (Figura 15). En el Cuadro 5, se presentan las Áreas Naturales Protegidas ubicadas en las zonas donde se encontró el ahuehuete, así como el área ocupada por éste y tipo de área.

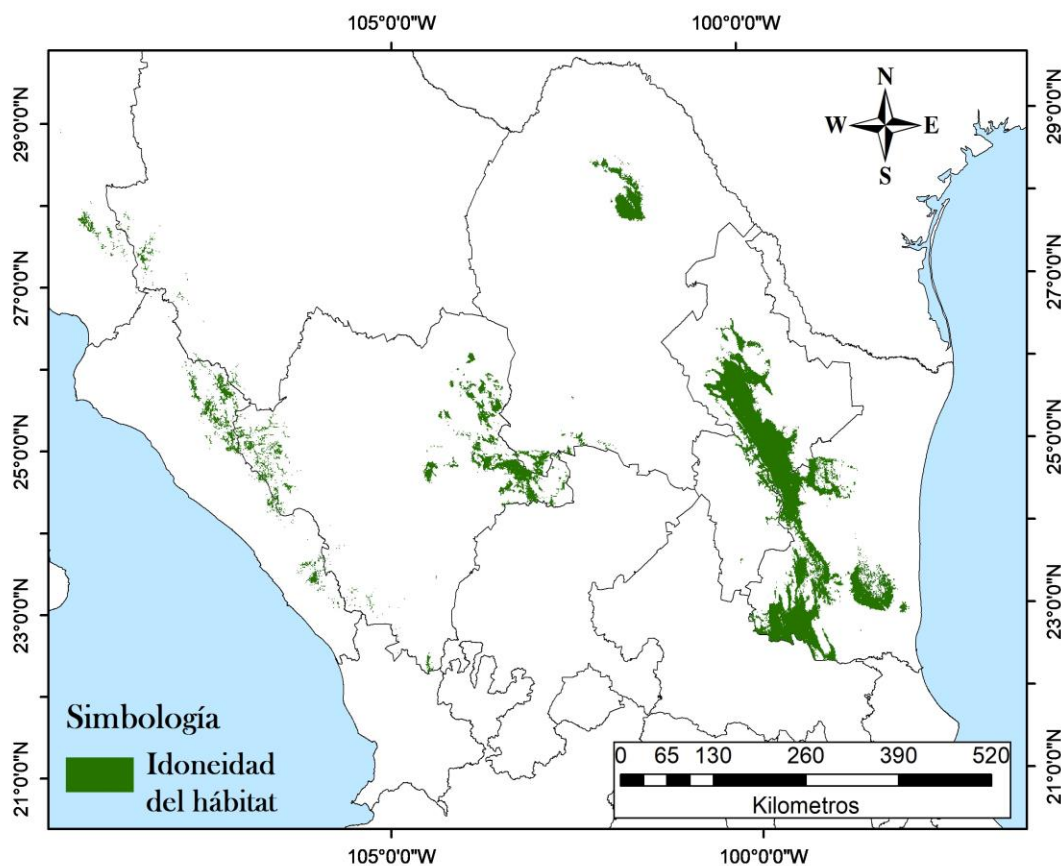


Figura 15. Mapa de distribución con presencia de ahuehuete región norte.

Cuadro 5. Áreas naturales protegidas región norte

Estado	Nombre	Tipo	Superficie
Coahuila	CADNR004 Porción Río Sabina, La Encantada, Sata Rosa, Burro.	Federal	637.42 km ²
Nuevo León y Coahuila	Cumbres de Monterrey	Federal	338.13 km ²
Nuevo León y Coahuila	CADNR026 Porción Sierra de Arteaga	Federal	186.23 km ²
Chihuahua y Sonora	Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui	Federal	1.2 km ²
Durango y Nayarit	CADNR043 Porción Guacamayita Cerro El Cangrejo-Guajolote-Labrado, Sierra Nayarit	Federal	6 km ²
Nuevo León	Cerro de la Silla	Federal	47.34 km ²
Tamaulipas	Área Natural Protegida Altas Cumbres	Estatad	192.68 km ²
Tamaulipas	Bernal de Horca sitas	Estatad	2.08 km ²
Durango	Cañón de Fernández	Estatad	7.28 km ²
Nuevo León	Cerro del Obispo	Estatad	0.18 km ²
Nuevo León	Cerro el Topo	Estatad	5.92 km ²
Nuevo León	Cerro la Mota	Estatad	0.34 km ²
Tamaulipas	El Cielo	Estatad	727.55km ²
Sinaloa	Mineral de Nuestra Señora de la Candelaria	Estatad	1.66 km ²
Nuevo León	Nuevo Parque Ecológico la Pastora	Estatad	1.44 km ²
Nuevo León	Parque Lineal	Estatad	6.76 km ²
Nuevo León	Sierra Cerro de la Silla	Estatad	104.91km ²
Nuevo León	Sierra el Fraile y San Miguel	Estatad	5.43 km ²
Nuevo León	Sierra de las Mitras	Estatad	2.57 km ²
Nuevo León	Sierra Picachos	Estatad	94.61 km ²
Coahuila	Sierra y Cañón de Jimulco	Municipal	69.28 km ²

* CADNR Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego.

En la región centro, los estados con presencia de ahuehuete son: Colima 98,41 km², San Luis Potosí 19,656.51 km², Jalisco 42,507.72 km², Michoacán 23,178.40 km², Zacatecas 3,977.02 km², Nayarit 4,229.82 km², Guanajuato 22,823.97 km², Aguascalientes 736.59 km², con una superficie total de 117,269.31 km² (Figura 16). En el Cuadro 6, se presenta la información referente a las ANP.

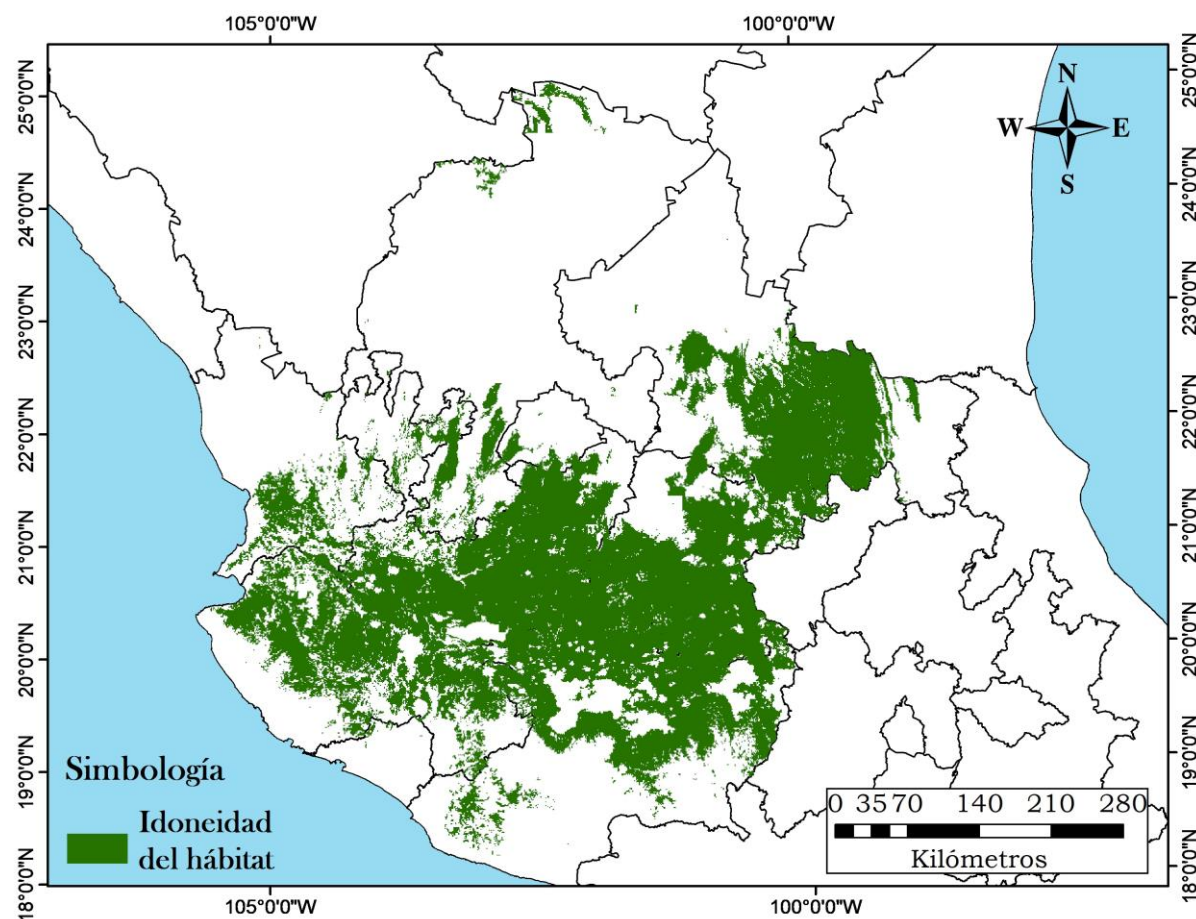


Figura 16. Mapa de distribución con presencia de ahuehuete región centro occidente.

Cuadro 6. Áreas naturales protegidas región centro occidente.

Estado	Nombre y Región	Tipo	Superficie
Michoacán de Ocampo	Barranca del Cupatitzio	Federal	4.59 km ²
Nayarit	CADNR043 Porción Ahuamilpa El Cajón	Federal	325.83 km ²
Durango y Nayarit	CADNR043 Porción Guaca mayita	Federal	0.6 km ²
Aguascalientes, Jalisco, Nayarit Y Zacatecas	CADNR043 Porción Laurel	Federal	9.78 km ²
Zacatecas y Jalisco	CADNR043 Porción Sierra De Juchipila	Federal	80.79 km ²
Jalisco	CADNR043 Porción Sierra De Morones	Federal	42.62 km ²
Jalisco y Nayarit	CADNR043 Porción Sierra De Vallejo Ameca	Federal	1425.51 km ²
Aguascalientes y Zacatecas	CADNR043 Porción Sierra Fría	Federal	15.44 km ²
Jalisco y Nayarit	CADNR043 Porción Sierra Huicholes	Federal	173.14 km ²
Zacatecas y Jalisco	CADNR043 Porción Sierra Morones	Federal	3.57 km ²
Durango, Jalisco, Nayarit y Zacatecas	CADNR043 Porción Sierra Valparaíso	Federal	6.09 km ²
Zacatecas y Jalisco	CADNR043 Porción Sin Nombre	Federal	30.07 km ²
Jalisco	CADNR043 Porción Volcán De Tequila	Federal	34.46 km ²
Michoacán de Ocampo	Cerro De Garnica	Federal	0.8 km ²
Colima	El Jabalí	Federal	4.36 km ²
San Luis Potosí	El Potosí	Federal	21.29 km ²
San Luis Potosí	Gogorron	Federal	202.19km ²
Michoacán de Ocampo	Insurgente. José María Morelos	Federal	70.56 km ²
Jalisco	La Primavera	Federal	282.01 km ²
Michoacán de Ocampo	Lago de Camécuaro	Federal	0.05 km ²
Edo. de México y Michoacán De Ocampo	Mariposa Monarca	Federal	11.79 km ²
Jalisco y Colima	Nevado de Colima	Federal	4.53 km ²
Michoacán	Pico de Tancitaro	Federal	1.74 km ²
Jalisco y Colima	Sierra de Manantlan	Federal	451.85 km ²
Jalisco	Sierra de Quila	Federal	86.19 km ²
San Luis Potosí	Sierra del Abra Tanchipa	Federal	196.28 km ²
Qro. Guanajuato, Hidalgo, SLP.	Sierra Gorda	Federal	44.81 km ²
Guanajuato	Sierra Gorda de Guanajuato	Federal	1 930.69 km ²
Michoacán	Zicuiran-Infiernillo	Federal	11.52 km ²
Michoacán	Agua Caliente	Estatad	0.39 km ²

Jalisco	Barranca del Río Santiago	Municipal	54.52km ²
Michoacán	Bosque Cuauhtémoc y Parque Juárez	Estatad	0.49 km ²
Jalisco	Bosque El Nixticuil-San Esteban-El Diente	Municipal	11.55km ²
Jalisco	Bosque Los Colomos	Municipal	0.90km ²
Jalisco	Bosque Mesófilo Nevado de Colima	Estatad	25.38km ²
Michoacán	Cerrito de la Independencia	Municipal	0.028 km ²
Guanajuato	Cerro de Arandas	Estatad	47.64km ²
Guanajuato	Cerro de los amoles	Estatad	48.05 km ²
Guanajuato	Cerro del Cubilete	Estatad	22.84 km ²
Aguascalientes	Cerro del Muerto	Estatad	0.0055 km ²
Guanajuato	Cerro del Palenque	Estatad	6.93 km ²
Michoacán	Cerro Hueco	Estatad	0.33 km ²
Michoacán	Cerro Pelón	Estatad	0.23 km ²
Michoacán	Cerro Punhuato	Estatad	0.79km ²
Jalisco	Cerro Viejo - Chupinaya - Los Sabinos	Estatad	110.18 km ²
Guanajuato	Cerros el Culiacán y la Gavia	Estatad	300.15km ²
Guanajuato	Cuenca alta del Río Temascalón	Estatad	55.25 km ²
Guanajuato	Cuenca de la Esperanza	Estatad	1.67 km ²
Guanajuato	Cuenca de la Soledad	Estatad	1.82 km ²
Michoacán	El Barrancón de las Guacamayas	Estatad	8.52 km ²
Querétaro	El Batán	Estatad	0 022 km ²
Michoacán	El Zapián	Estatad	2.40 km ²
Michoacán	Ex-Escuela Central Agrícola de La Huerta	Estatad	1.70 km ²
Michoacán	La Alberca	Estatad	0.44 km ²
Michoacán	La Alberca de los Espinos	Estatad	1.42 km ²
Michoacán	La Chihihua	Estatad	0.38 km ²
Michoacán	La Eucalera de Paso de Hidalgo	Estatad	0.76 km ²
Zacatecas	La Quemada	Estatad	0.73 km ²
Guanajuato	La Región Volcánica siete Luminarias	Estatad	88.90 km ²
Guanajuato	Lago-Crater la Joya	Estatad	12km ²
Guanajuato	Laguna de Yuriria y su Zona de Influencia	Estatad	148.58 km ²
Michoacán	Laguna de Zacapu y su Rivera Tzacapo	Estatad	0.46 km ²
	Tacanendam		
Guanajuato	Las Fuentes	Municipal	1.09 km ²
Guanajuato	Las Musas	Estatad	31.72 km ²
Michoacán	Las Tinajas de Huandacareo	Estatad	2.54 km ²
Michoacán	Lic. Salvador Bernal Murguía	Municipal	0.17 km ²

Michoacán	Loma de Santa María y depresiones aledañas.	Municipal	1.67 km ²
Michoacán	Los Chorros del Varal	Estatad	0.72 km ²
San Luis Potosí	Manantial de la Media Luna	Estatad	2.86 km ²
Michoacán	Manantial la Mintzita	Estatad	4.20 km ²
Guanajuato	Mega parque	Estatad	0.28 km ²
San Luis Potosí	Palma Larga	Estatad	0.25 km ²
Michoacán	Parque Ecológico Agua Tibia-Jeroche	Estatad	6.88 km ²
Michoacán	Parque francisco Zarco	Estatad	0.17 km ²
Guanajuato	Parque metropolitano	Municipal	2.80 km ²
Michoacán	Parque Urbano del Instituto Tecnológico Agropecuario	Municipal	0.07 km ²
Michoacán	Parque Urbano Ecológico de Capacuaro	Municipal	0.07 km ²
Michoacán	Parque Urbano Ecológico de Taquiscuareo	Estatad	0.11 km ²
Michoacán	Parque Urbano Ecológico del Fideicomiso de la Ciudad Industrial de Morelia	Municipal	0.89 km ²
San Luis Potosí	Paseo de la Presa	Estatad	0.25 km ²
Guanajuato	Peña Alta	Municipal	0.002 km ²
Jalisco	Piedras Bola	Estatad	0.14 km ²
Guanajuato	Pinal del Zamorano	Estatad	57.06 km ²
Guanajuato	Presa de Neutla y su Zona de Influencia	Estatad	20.23 km ²
Guanajuato	Presa de Silva y sus Áreas Aledañas	Estatad	88.05 km ²
Guanajuato	Presa la Purísima y su Zona de influencia	Estatad	27.35 km ²
San Luis Potosí	Real de Guadalcazar	Estatad	203.28 km ²
Guanajuato	Sierra de los Agustino	Estatad	140.71km ²
Guanajuato	Sierra de los Lobos	Estatad	1.63 km ²
México	Sierra de la Nanchita	Estatad	2.86 km ²
Guanajuato	Sierra de Pénjamo	Estatad	749.63 km ²
Nayarit	Sierra de San Juan	Estatad	178.54 km ²
Nayarit	Sierra de Vallejo	Estatad	161.42 km ²
Jalisco	Sierra del Águila	Estatad	29.02 km ²
San Luis Potosí	Sierra del Este y Sierra de En medio	Estatad	10.44 km ²
Aguascalientes	Sierra Fría	Estatad	15.41km ²
Michoacán	Volcán el Jorullo	Estatad	8.60 km ²
Querétaro	Zona Occidental de Micro cuencas	Municipal	3.37 km ²

En la región centro, los estados con presencia de ahuehuete son: Querétaro 9,534.92 km², Estado de México 8,802.95 km², Hidalgo 8,349.52 km², Puebla 16,840.37 km², Tlaxcala 776.12 km², Morelos 4596.30 km², Distrito Federal 827.61 km², con una superficie total de 49 826, 55 km² (Figura 17). En el Cuadro 7 se localiza la información por ANP.

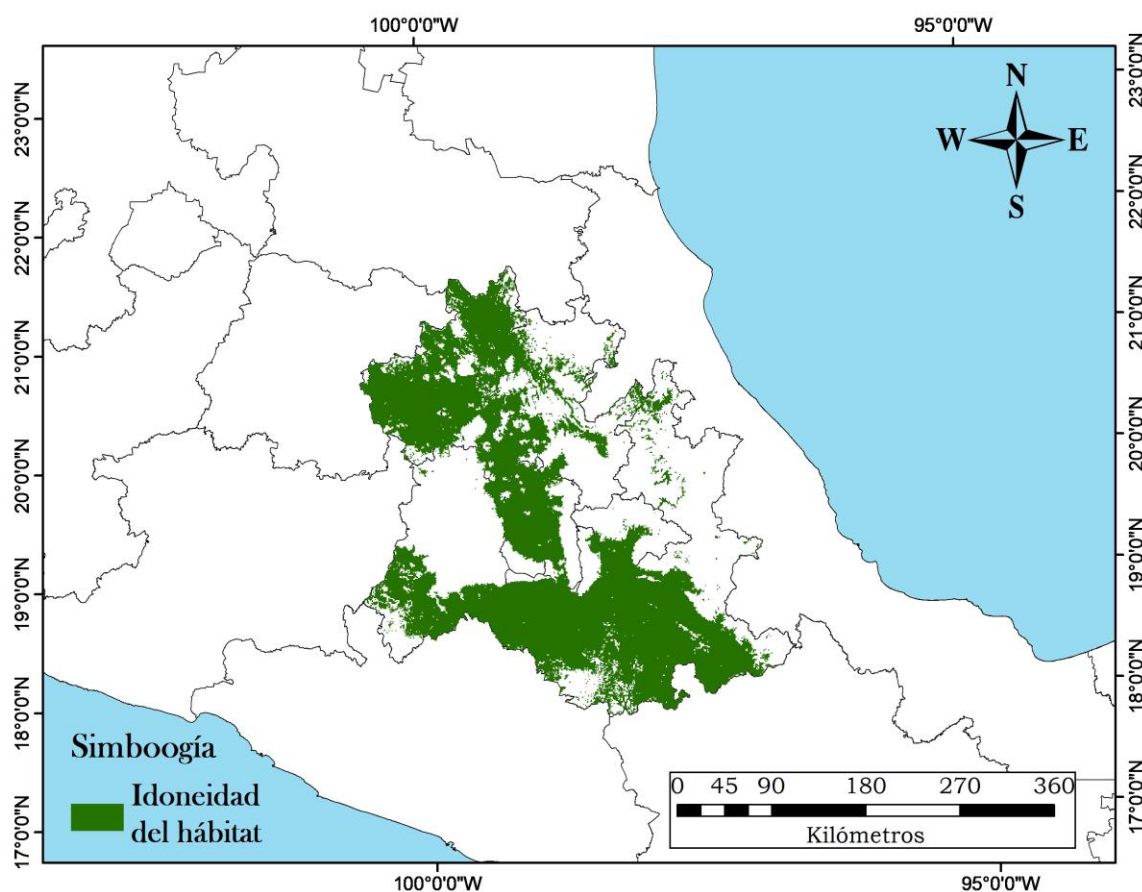


Figura 17. Mapa de distribución con presencia de ahuehuete región centro.

Cuadro 7. Áreas naturales protegidas región centro.

Estado	Nombre	Tipo	Superficie
Hidalgo	Barranca De Metztitlan	Federal	321.81km ²
Distrito Federal	Cerro de la Estrella	Federal	11.95 km ²
Querétaro de Artega	Cerro de las Campanas	Federal	0.59 km ²
D.F. Morelos y Edo. México.	Cobio Chichinautzin	Federal	186.91km ²
Puebla, Hidalgo	Cuenca Hidrográfica Del Rio Necaxa	Federal	23.38 km ²
Edo. De México y Michoacán.	Cuencas De Los Ríos Valle De Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec	Federal	651.62 km ²
Estado de México	Desierto Del Carmen O De Nixcongo	Federal	3.35 km ²
Hidalgo	El Chico	Federal	
Querétaro de Artega	El Cimatarío	Federal	24.18 km ²
Distrito Federal	El Histórico Coyoacán	Federal	0.4 km ²
Distrito Federal	El Tepeyac	Federal	2.52 km ²
Morelos y D. F.	El Tepozteco	Federal	160.47 km ²
Distrito Federal	Fuentes Brotantes de Tlalpan	Federal	0.22 km ²
Guerrero	Grutas de Cacahuamilpa	Federal	0 09 km ²
Distrito Federal	Lomas de Padierna	Federal	146.11 km ²
Hidalgo	Los Mármoles	Federal	4.04 km ²
Estado de México	Los remedios	Federal	
Tlaxcala y Puebla	Malinche o Matlalcueyatl	Federal	8.06 km ²
Edo. México y Michoacán	Mariposa Monarca	Federal	18.7 km ²
Estado de México	Molino de Flores Netzahualcoyotl	Federal	0.5 km ²
Estado de México	Sacramonte	Federal	0.16 km ²
Morelos, Puebla, Gro.	Sierra de Huautla	Federal	499.92km ²
Querétaro, Guanajuato, Hidalgo y San Luis Potosí	Sierra Gorda	Federal	2940.76km ²
Guanajuato	Sierra Gorda De Guanajuato	Federal	3 km ²
Puebla y Oaxaca	Tehuacan-Cuicatlan	Federal	1610 km ²
Hidalgo	Tula	Federal	1.07 km ²
Tlaxcala	Xicotencatl	Federal	8.62 km ²
Hidalgo	Asthar	Municipal	0.23 km ²
Mexico	Atizapán Valle Escondido	Estatad	3.08 km ²
Morelos	Barranca de Chapultepec	Estatad	0.11 km ²
México	Barranca México 68	Estatad	0 039 km ²
México	Barranca Tecamachalco	Estatad	0.15 km ²
México	Barrancas del Huizachal, del Arroyo Santa Cruz y del Arroyo Plan de la Zanja	Estatad	0.69 km ²

México	Barrancas Río La Pastora, Río de la Loma y Río San Joaquín	Estatal	1.29 km ²
Hidalgo	Bondojito	Ejidal	0.67 km ²
Querétaro	Bordo Benito Juárez	Estatal	0.27 km ²
Distrito federa	Bosque de Tlalpan	Estatal	2.54 km ²
Distrito federal	Bosques de las Lomas	Estatal	0.31 km ²
Querétaro	Cañada Juriquilla	Municipal	0.22 km ²
México	Cerro Ayaqueme Volcán Huehuel	Estatal	12.45 km ²
México	Cerro Colorado	Estatal	1 km ²
México	Cerro Cuatenco	Estatal	0.48 km ²
Distrito Federal	Cerro de la Estrella	Estatal	1.43 km ²
Morelos	Cerro de la Tortuga	Estatal	3.01 km ²
Hidalgo	Cerro del ángel	Ejidal	3.55 km ²
México	Cerro de la Cruz Tejaltepec	Estatal	17.50 km ²
Puebla	Cerro Zapotecas	Estatal	5.42 km ²
México	Chapa de Mota	Estatal	0.023 km ²
Hidalgo	Cruz de Plata	Municipal	0.071km ²
Hidalgo	Dothi	Ejidal	0.20 km ²
Distrito Federal	Ecoguardas	Ejidal	1.33 km ²
Distrito Federal	Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.	Estatal	25.43 km ²
Querétaro	El Batán	Estatal	33.71 km ²
México	El Oso Bueno	Estatal	2.89 km ²
Hidalgo	El Sabino	Ejidal	0.084 km ²
Querétaro	El Tángano	Estatal	7.25 km ²
Morelos	El Texcal	Estatal	2.61 km ²
Hidalgo	El Zoológico	Estatal	0.028 km ²
México	Espíritu Santo	Estatal	1.15 km ²
México	Grutas de la Estrella	Estatal	0.046 km ²
Puebla	Humedal de Valsequillo	Estatal	139.59 km ²
Querétaro	Jurica Poniente	Municipal	2.25 km ²
Distrito Federal	La Armella	Estatal	0.91 km ²
Hidalgo	La Cañada Huixcazdha	Estatal	9.26 km ²
Tlaxcala	La Ciénega	Estatal	0.43 km ²
Morelos	La Sierra Monte Negro	Estatal	77.98 km ²
Querétaro	La Trinidad	Estatal	7.77 km ²
Morelos	Las Estacas	Estatal	6.58 km ²
Morelos	Los Sabinos Santa Rosa San Cristóbal	Estatal	1.57 km ²

México	Malpas de Santo Tomás de los Plátanos	Estatal	1.45 km ²
Hidalgo	Mamithi	Ejidal	0.10 km ²
México	Metropolitano de Naucalpan	Estatal	1.72 km ²
México	Monte Alto	Estatal	5.69 km ²
Querétaro	Montenegro	Estatal	5.49 km ²
México	Nahuatlaca-Matlazinca	Estatal	66.45 km ²
Distrito Federal	Parque Ecológico de la CDMX	Estatal	2.30 km ²
Tlaxcala	Parque Ecológico Publico Diego Muños Camar	Estatal	0.30 km ²
México	Parque Ecológico Recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán	Estatal	244.84 km ²
México	Parque Estado de México-Naucalli	Estatal	0.52 km ²
Mexico	Parque Estatal para la protección y fomento del Santuario del agua Laguna de Zumpango	Estatal	185.39 km ²
México	Parque Estatal Santuario del agua Lagunas de Xico	Estatal	15.72 km ²
México	Parque Estatal Santuario del agua Sistema Hidrológico Presa Huapango	Estatal	191.88 km ²
México	Parque Estatal Santuario del agua y forestal Manantial El Salto de Atlautla-Ecatzingo	Estatal	3.80 km ²
México	Parque Tlalnepantla	Municipal	0.04 km ²
Querétaro	Peña de Bernal	Estatal	2.59 km ²
México	Picacho de Oro y Plata	Estatal	8.55 km ²
Guanajuato	Pinal de Zamorano	Estatal	2.79 km ²
Hidalgo	Rancho Huixcazdhá	Municipal	2.06 km ²
México	San José Chalco	Estatal	0.17 km ²
México	Santuario del agua Valle de Bravo	Estatal	129.03 km ²
México	Santuario del agua y forestal Presa Guadalupe	Estatal	17.66 km ²
México	Santuario del agua y forestal Presa Taxhimay	Estatal	62.22 km ²
Distrito Federal	Sierra de Guadalupe	Estatal	44.24 km ²
México	Sierra de Nanchititla	Estatal	356.78 km ²
Distrito Federal	Sierra de Santa Catarina	Estatal	7.39 km ²
Distrito Federal	Sierra de Tepotzotlán	Estatal	65.31 km ²
Puebla	Sierra del Tentzo	Estatal	582.17 km ²
México	Sierra Hermosa	Estatal	6.23 km ²
México	Sierra Patlachique	Estatal	9.75 km ²
México	Sistema Tetzcotzinco	Estatal	9.87 km ²

Querétaro	Tángano II	Estatal	1.31 km ²
Distrito Federal	Tercera Sección del Bosque de Chapultepec	Estatal	2.46 km ²
México	Tlatucapa	Estatal	2.75 km ²
Hidalgo	Vega de Madero	Ejidal	0.07 km ²
México	Zona de Recursos Naturales Río Grande-San Pedro	Estatal	76.15 km ²
Querétaro	Zona Occidental de Micro cuencas	Municipal	54.88 km ²

En la región sur, los estados en los que encontramos presencia de ahuehuete son: Veracruz 5,401 km², Guerrero 14,138.25 km², Chiapas 26,768.22 km², Oaxaca 45,001.06 km², con una superficie total de 91,376.73 km² (Figura 18). La descripción por ANP se localiza en el Cuadro 8.

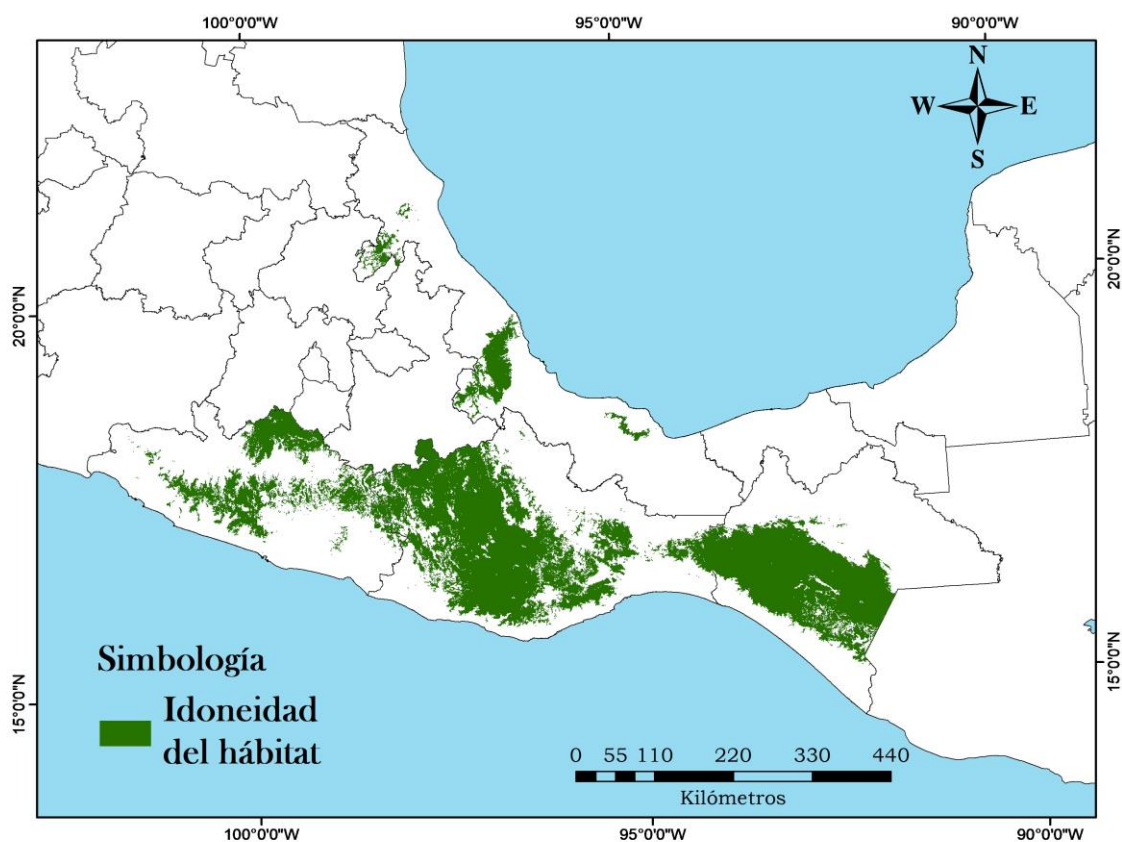


Figura 18. Mapa de distribución con presencia de ahuehuete región sur.

Cuadro 8. Áreas naturales protegidas región sur.

Estado	Nombre	Tipo	Superficie
Oaxaca	Benito Juárez	Federal	24.74km ²
Oaxaca	Bosque de Tonalá	Federal	37.33 km ²
Puebla y Veracruz	Casón de Río Blanco	Federal	278.65 km ²
Chiapas	Cañón del Sumidero	Federal	241.9 km ²
Chiapas	El Triunfo	Federal	877.7 km ²
Guerrero	El Veladero	Federal	0.6 km ²
Guerrero	General Juan Alvares	Federal	0.48 km ²
Guerrero	Grutas de Cacahuamilpa	Federal	16.35km ²
Chiapas y Oaxaca	La Sepultura	Federal	1259.3 km ²
Veracruz	Los Tuxtlas	Federal	49 km ²
Chiapas	Selva el Ocote	Federal	492.43 km ²
Morelos, Puebla, Gro.	Sierra de Huautla	Federal	83.69km ²
Puebla y Oaxaca	Tehuacan-Cuicatlan	Federal	2867.08km ²
Chiapas	Terrenos, Municipios La Concordia, Ángel Albino Corzo, Villa Flores y Jiquipil	Federal	1840.54 km ²
Chiapas	Volcán Tacana	Federal	1.01 km
Oaxaca	Yagul	Federal	10.97 km ²
Oaxaca	Cerro del Forton	Estatal	0.92 km ²
Chiapas	Cerro Mactumatza	Estatal	6.38 km ²
Chiapas	Cerro Meyapac	Estatal	18.09 km ²
Oaxaca	Cerro Ta-Mme	Estatal	0.20 km ²
Chiapas	Cordón Pico el Iorop-Paxtal	Estatal	402.27 km ²
Chiapas	El Canelar	Estatal	0.87 km ²
Guerrero	El Pericón	Estatal	3.73 km ²
Chiapas	El Recreo	Estatal	0.027 km ²
Chiapas	El Zapotal	Estatal	0.83 km ²
Oaxaca	Hierve el Agua	Estatal	41.45 km ²
Chiapas	Humedales de Montaña la Kisst	Estatal	1 km ²
Chiapas	Humedales de Montaña María Eugenia	Estatal	0.33 km ²
Chiapas	La Concordia Zaragoza	Estatal	141.86 km ²
Chiapas	La Lluvia	Estatal	1.10 km ²
Chiapas	La Pera	Estatal	78 km ²

Chiapas	La Primavera	Estatal	0.39 km ²
Chiapas	Laguna Bélgica	Estatal	0.66 km ²
Guerrero	Los Olivos	Estatal	1.22 km ²
Veracruz	Metlac Río Blanco	Estatal	84.18 km ²
México	Picacho de Oro y Plata	Estatal	0.35 km ²
Chiapas	Rancho Nuevo	Estatal	0.31 km ³
México	Sierra de Nanchititla	Estatal	0.94 km ²
Veracruz	Sierra de Ontotepec	Estatal	76.15 km ²
Chiapas	Volcán Tacana	Estatal	3.67 km ²
México	Zona de Recursos Naturales Río Grande-San Pedro	Estatal	0.47 km ²
Oaxaca	Zona de Reserva Ecológica El Fortón, Cruz Blanca y Cerro del Crestón	Estatal	23.96 km ²

4.5 Curvas de respuesta

Estas curvas muestran cómo cada variable ambiental afecta la predicción de MaxEnt, de tal manera que el eje de ordenadas muestra la probabilidad predicha de condiciones idóneas para la especie ante los valores de cada variable que aparece en el eje de las abscisas. Las curvas muestran cómo cambia la probabilidad pronosticada de presencia a medida que varía cada variable ambiental, manteniendo todas las demás variables ambientales en su valor de muestra promedio.

4.5.1 BIO11 Temperatura media del trimestre más frío

En la gráfica se muestra el comportamiento de BIO11, se observa que al incrementarse la temperatura, se incrementa la probabilidad de presencia de la especie; los rangos de la gráfica son de 13° a 22°C, temperatura favorable para la especie y conforme esta desciende disminuye la probabilidad de su presencia (Figura 19). De acuerdo a CONABIO (2019), el ahuehuete se encuentra en un rango de temperatura media mínima anual de 16° a 20°C y promedio máxima de 25°C, es de climas cálidos y semicálidos aunque se adapta a los templados. En otro estudio CONAPLOR (2019), comenta que el ahuehuete es una especie indiferente a la temperatura, siempre y cuando exista la humedad adecuada. En un estudio relacionado con la distribución de *Taxus baccata*, se indica que BIO11 fue una variable importante, ya que esta variable condiciona la presencia de muchas especies Koc, Svenning, & Avci (2018). En el estudio de Yilmaz & Yilmaz (2016), BIO11 Y BIO15 fueron variables altamente correlacionadas que condicionan la presencia de *Quercus Robur L.*

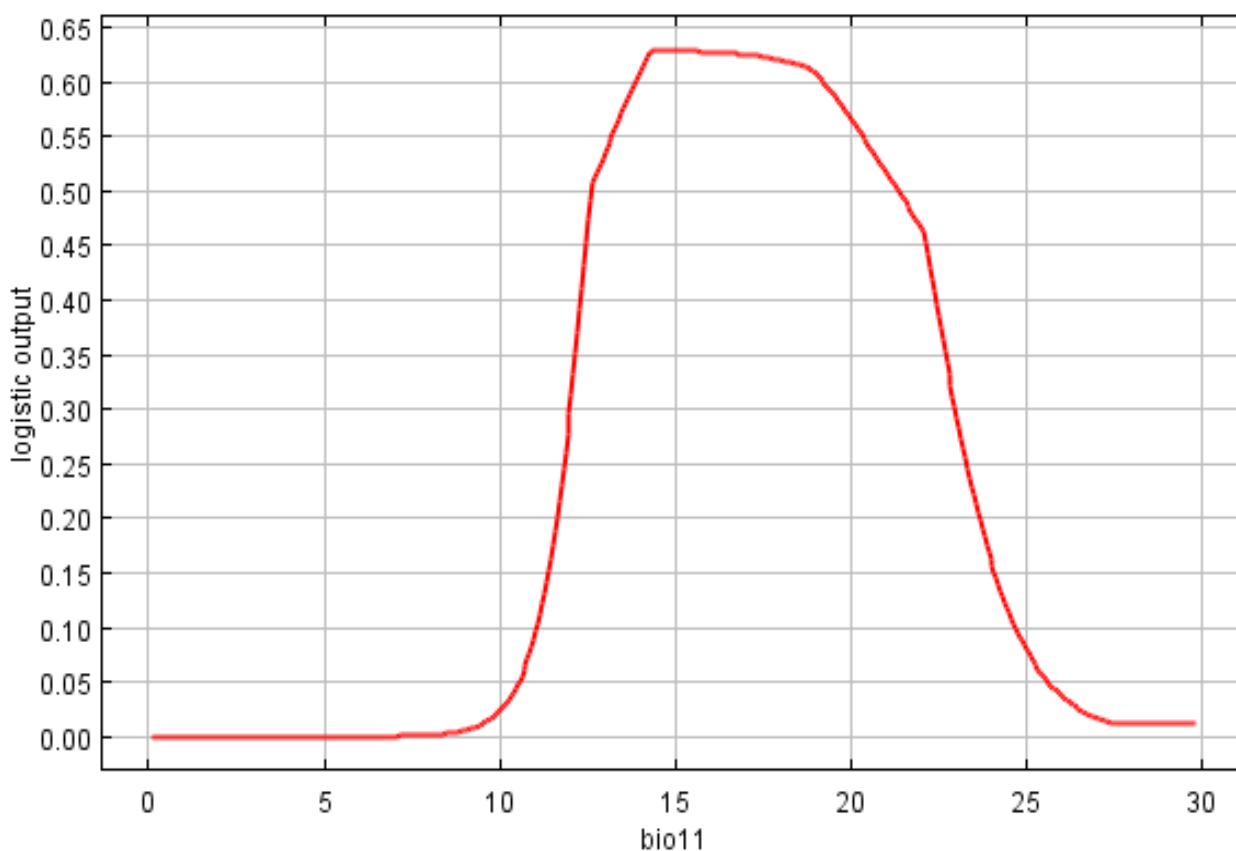


Figura 19. Comportamiento de la variable BIO11.

4.5.2 BIO18 Precipitación del trimestre más cálido

Si durante el trimestre más cálido se presenta una precipitación en el rango de 300 a 400mm, la probabilidad de presencia de la especie se incrementa (Figura 20). Esta respuesta se debe a que es esta etapa el ahuehuete se encuentra en pleno crecimiento. Se ha determinado que la precipitación de este periodo aunado a temperaturas favorables coadyuvan a la presencia de la especie (Villanueva *et al.*, 2013). De acuerdo a CONABIO (2019), el rango de precipitación adecuado para la presencia de la especie es de 800 a 1600 mm. Para (Qin *et al.*, 2017), BIO18 proporciona resultados satisfactorios para la conservación *Thuja sutchuenensis*. Pramanik *et al.*, (2018), en un estudio de distribución de *Garcinia Indica*, reportan que la variable BIO18 aunado a otros factores condicionan la presencia de dicha especie, la cual se encuentra amenazada por los impactos del cambio climático.

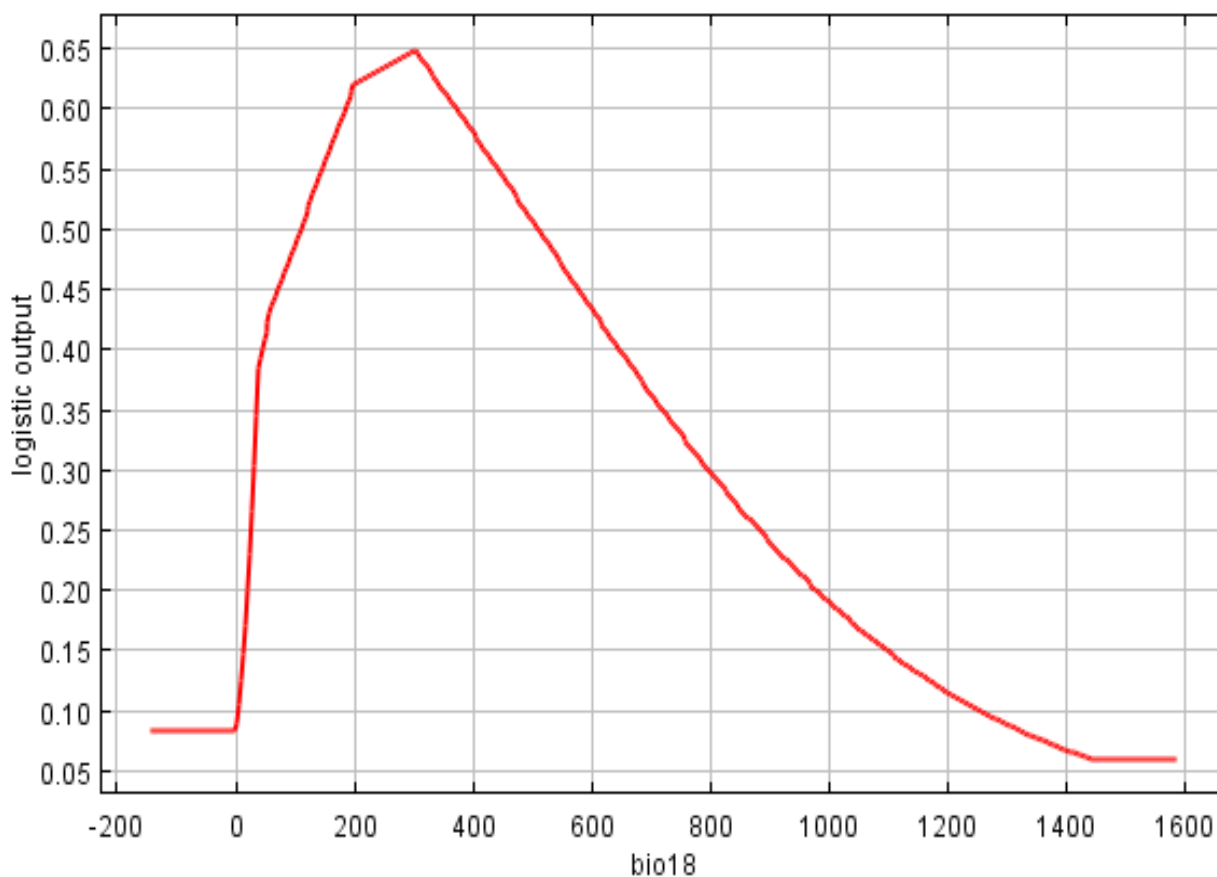


Figura 20. Comportamiento de la variable BIO18.

4.5.3 Modelo Digital de Elevación

El MDE es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno en el cual se realiza el estudio (Felicísimo, 2020). Del modelo digital de elevación analizado en el rango de 0 a 4,000 msnm, se determinó que entre 200 a 500 msnm, se presenta probabilidad de la presencia de la especie (Figura 21). Conforme se incrementa la misma, la probabilidad disminuye; lo cual coincide con la distribución de la especie que se indica en un rango de 200 a 2,500 msnm. En los estudios de Gómez, & Muñoz, (2005); Cruz-Cárdenas *et al.*, (2014); Cruz-Cárdenas *et al.*, (2016); Felicísimo, Gómez, & Muñoz (2004); West *et al.*, (2016), muestran que el Modelo Digital de Elevación es una variable importante que condiciona la distribución de especies.

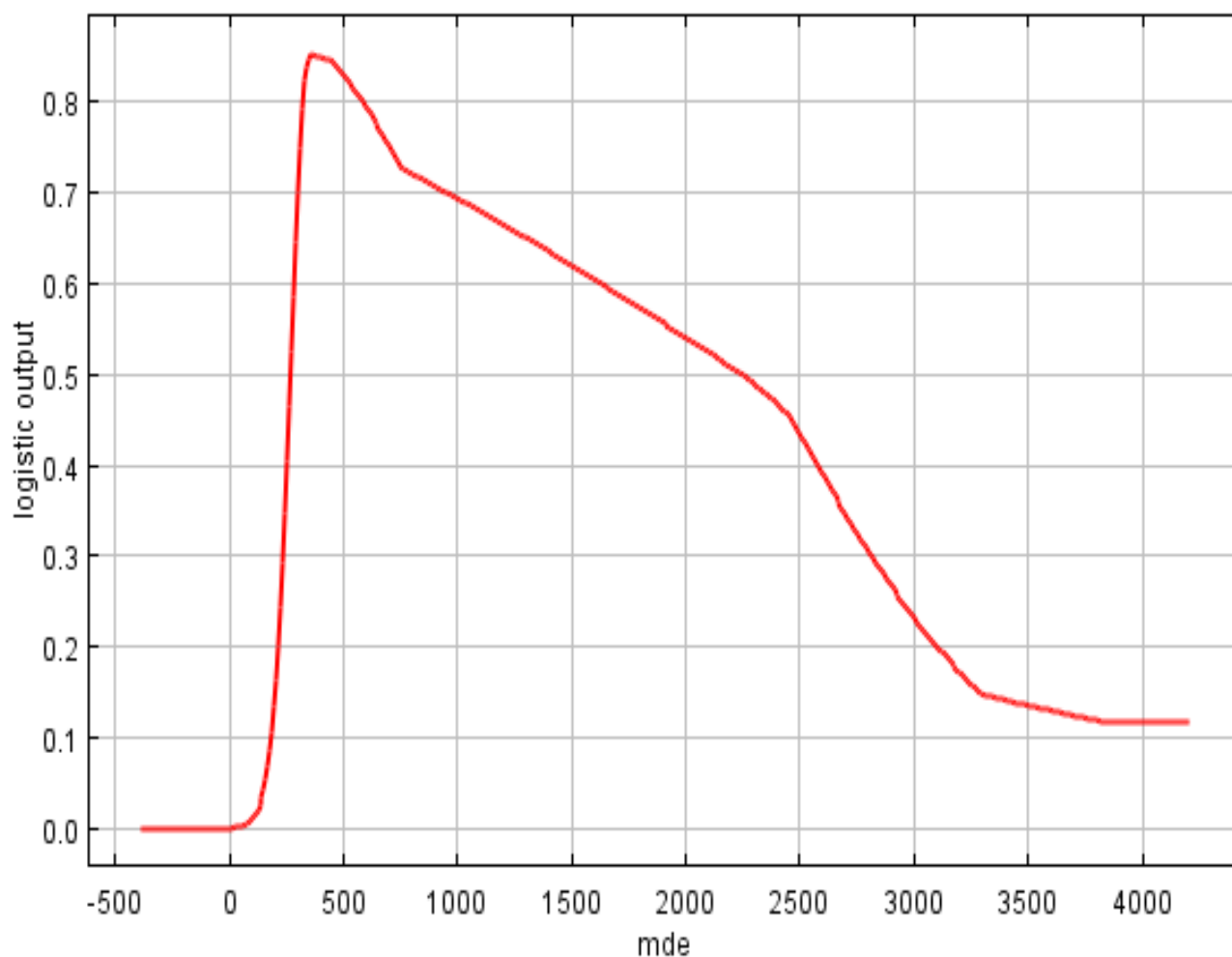


Figura 21. Comportamiento de la variable MDE.

4.5.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno

En la gráfica se muestra el comportamiento de esta variable mostrando rangos de 0 a 1000 mg l⁻¹, se observa que entre 0 a 25 o 30 mg l⁻¹ rango de aceptable, la cual podría favorecer la presencia de la especie, ya que con forme incrementan los niveles, daña los cuerpos de agua y a las comunidades biológicas (Figura 22). De acuerdo a Malanson (1996), los ambientes ribereños se consideran, estéticos, recreativos, paisajísticos y económicos. Gregory *et al.*, (1991) comenta que la vegetación ribereña provee de hojarasca a los cuerpos de agua, retiene y recicla nutrientes, favorece la retención de sedimentos y crea nuevos hábitats, son ecosistemas clave en estas áreas. Algunos ríos en México presentan elevado grado de contaminación, los efectos más visibles de los ecosistemas acuáticos son la pérdida de la calidad del agua y la biodiversidad.

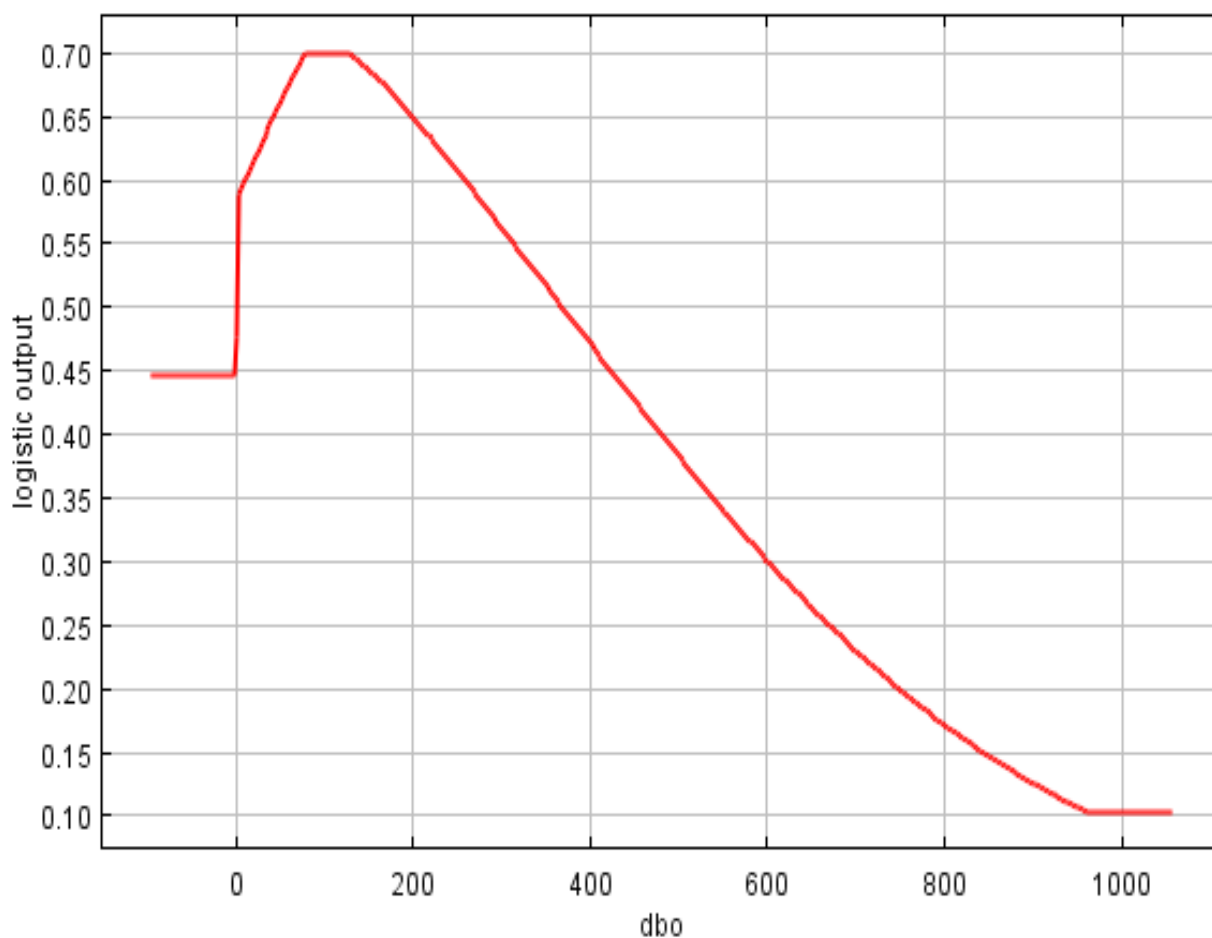


Figura 22. Comportamiento de la variable DBO.

4.5.5 BIO19 Precipitación del trimestre más frío

La precipitación del trimestre más frío (diciembre, enero, febrero) utilizando datos del SINA (2020) del período 1981-2000, indica una precipitación media de 22.8 mm (Figura 23). Los rangos de precipitación de la gráfica tienen un rango de 0 a 900 mm y se observa al inicio una precipitación mínima de 10 a 20 mm que favorece la presencia de la especie. La humedad que se presenta en la época invernal ayuda a la germinación de la semilla y establecimiento de plántulas (Villanueva *et al.*, 2013); además de que favorece un mayor desarrollo de la madera temprana de anillo total, lo cual es importante con fines de incremento de biomasa, salud y captura de carbono, entre otros beneficios colaterales (Villanueva *et al.*, 2007). Estudios en otras especies, señalan que la variación de BIO19, favorece a la idoneidad del hábitat para *Calotropis procera*, *Prosopis cineraria*, *Ziziphus spinachristi*, especies que se verán afectadas en un futuro por el cambio climático Ksiksi *et al.*, (2019). En otro estudio realizado por Stalin & Swamy (2015), comentan que la variable BIO19 es clave para la conservación de *Syzygium caryophyllatum*, mediante los modelos de distribución.

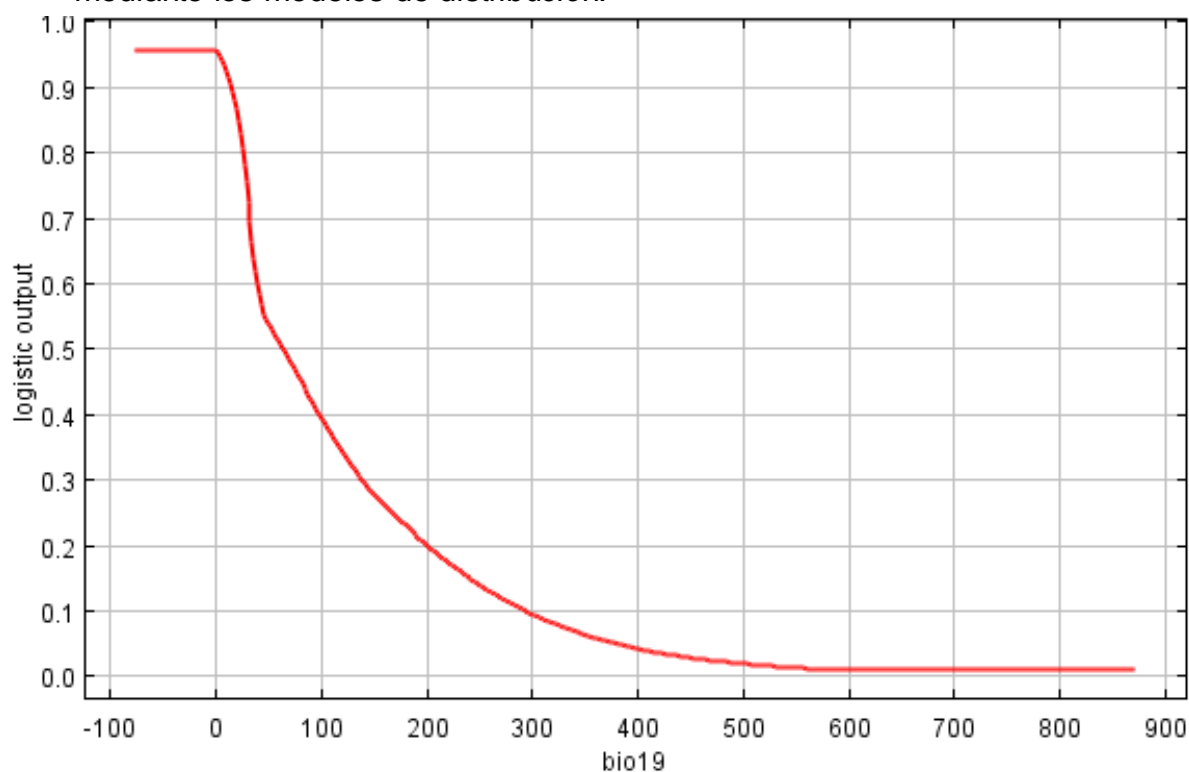


Figura 23. Comportamiento de la variable BIO19.

4.5.6 Sólidos Suspendidos Totales

El comportamiento de Sólidos Suspendidos Totales se realizó en un rango de 0 a 2500 mg l⁻¹. El rango de 150 a 200 mg l⁻¹ se considera bajo, aunque en un rango elevado 1500 a 2500 mg l⁻¹, es factible la presencia de la especie (Figura 24). Diversos estudios señalan al alto potencial de la especie para tolerar elevadas concentraciones de contaminantes presentes en aguas residuales Villanueva *et al.*, (2013). Las aguas residuales no siempre producen un efecto negativo en el desarrollo del ahuehuate, pero si tiene consecuencias en la vida acuática, afectando la biodiversidad y la relación con otros organismos. Conforme a Naiman *et al.*, (1993), los ecosistemas ribereños sostienen una alta diversidad de especies vegetales y animales, y en ellos se desarrollan numerosos procesos biológicos. De acuerdo a Quinn *et al.*, (1992), las zonas riparias tienen formaciones vegetales con una importante función, sirven de filtro ayudando a mejorar la calidad del agua, evitan la llegada de aguas con exceso de nutrientes y contaminantes. El deterioro de las áreas riparias y fragmentación de los hábitats en la mayoría de los casos es originado por el hombre, la contaminación que generan daña la calidad de agua afectando la diversidad de especies que habitan en ella.

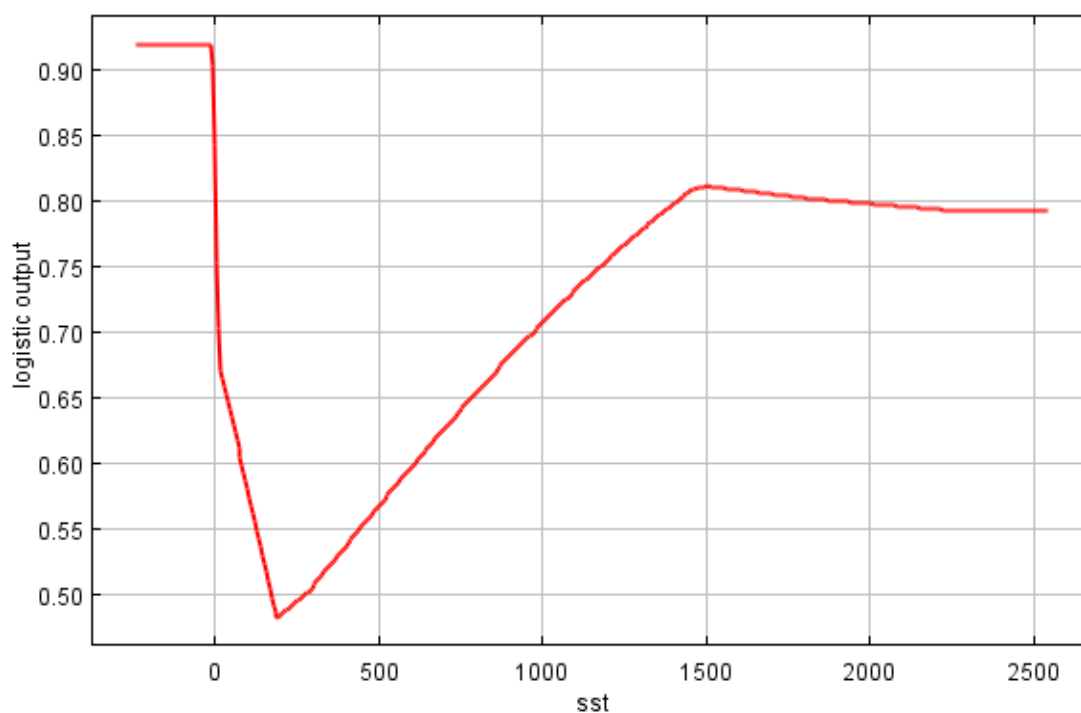


Figura 24. Comportamiento de variable SST.

4.5.7 BIO15 Estacionalidad de precipitación

La estacionalidad de la precipitación y un coeficiente de variación de 0.82%, se calculó con la precipitación del periodo 1981-2010 con registros de la base de datos SINA (2020). Los rangos de la gráfica van de 30 a 140 %, donde se observa un ascenso entre 80 a 140, rango favorable para la presencia de ahuehuate (Figura 25). Este parámetro se ha determinado importante para algunas especies como es el caso de *Zanthoxylum armatum* Xu *et al.* (2019). Un aspecto importante a considerar es que las zonas ribereñas no dependen de la precipitación directa ya que la mayoría de los ríos se abastecen de las escorrentías, por lo que conservan agua la mayor parte del año.

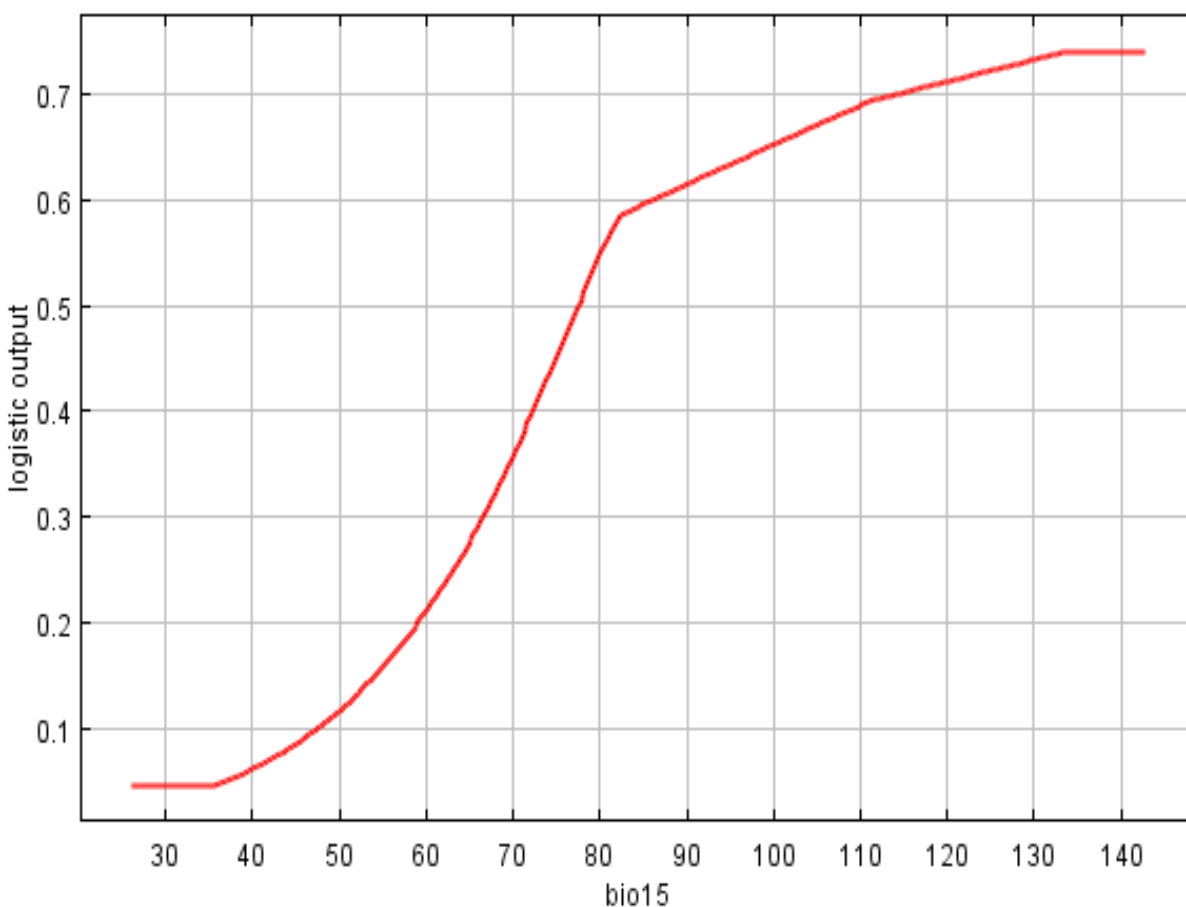


Figura 25. Comportamiento de la variable BIO15.

4.5.8 Análisis de cambio climático para los años 2050 y 2070

Acorde a los escenarios de cambio climático, se prevé que el ahuehuete es una especie sensible a estos cambios, disminuya para el año 2050 su superficie en un 93% con respecto a la superficie actual (Figura 26); esta disminución será del 94% para el año 2070 (Figura 27). De este análisis se determina que las pérdidas en superficie se presentan en todo el país; aunque en algunos estados como Chihuahua, parecieran existir condiciones más favorables para la presencia de la especie.

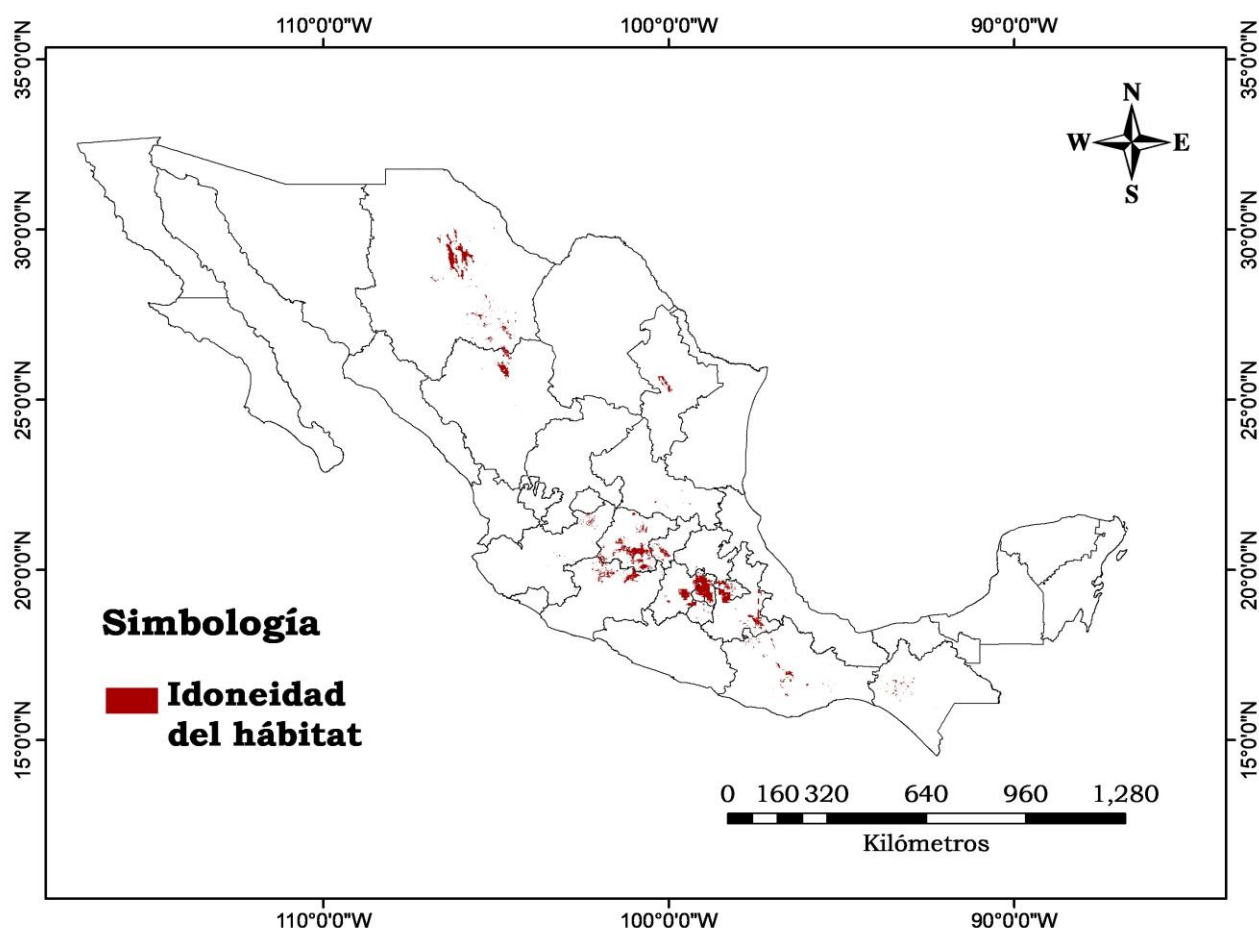


Figura 26. Mapa de distribución de ahuehuete escenario 4.5 y modelos MPIESM-LR, GFDL-CM3, HADGEM2-ES, para el año 2050.

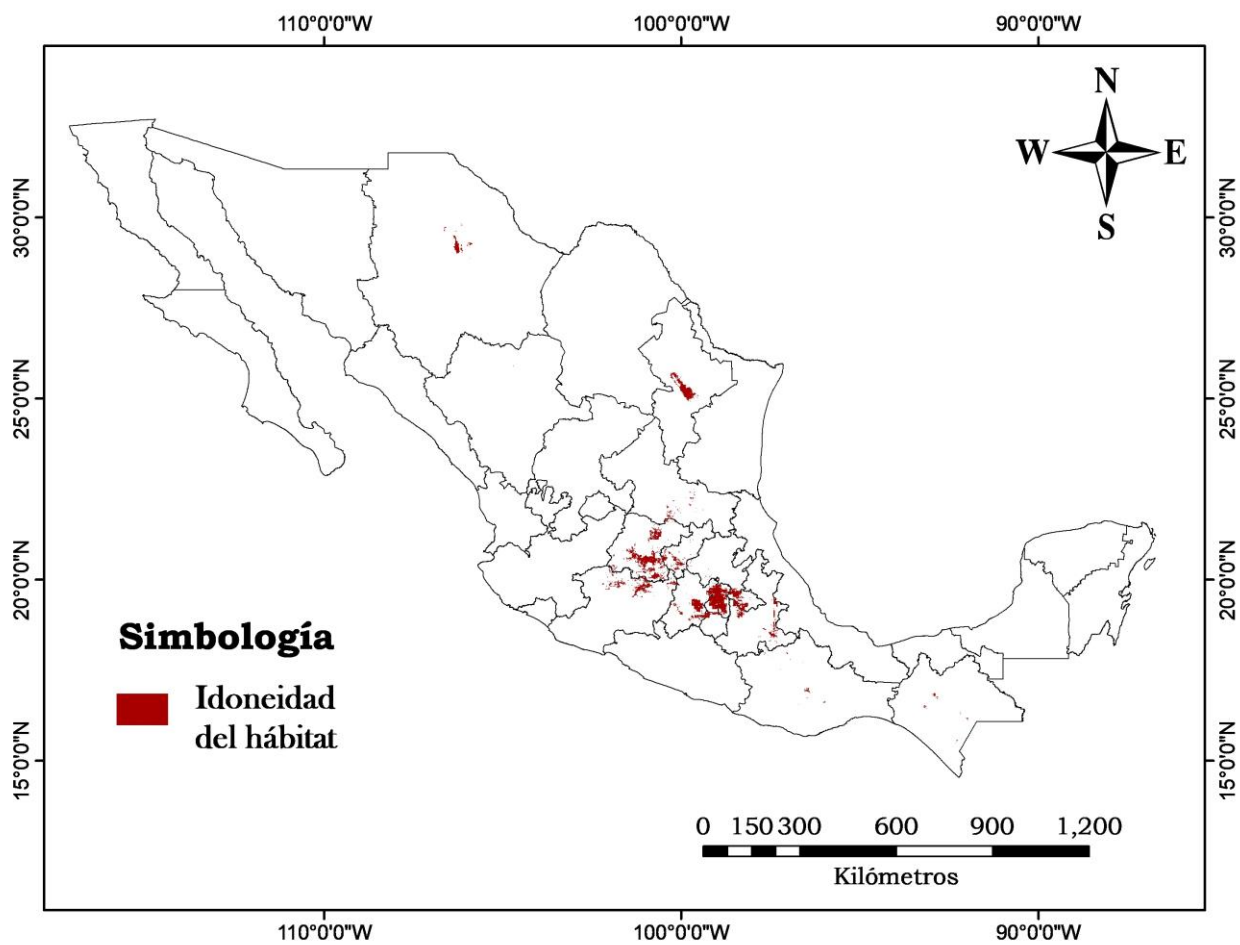


Figura 27. Mapa de distribución de ahuehuate escenario 4.5 y modelos MPIESM-LR, GFDL-CM3, HADGEM2-ES, para el año 2070.

V. CONCLUSIONES

El ahuehuete es el árbol nacional de México, es considerado una especie importante por los numerosos beneficios ecológicos y medicinales que brinda. Lamentablemente el ahuehuete a pesar de ser una especie de símbolo nacional no recibe los cuidados necesarios, su hábitat se ve muy dañado por la presencia del ser humano.

El ahuehuete muestra una amplia distribución en todo el país, siendo las zonas centro y sur donde la presencia es mayor. Esta especie la podemos encontrar en las orillas de ríos y tributarios, a estas áreas se les conoce como bosques de galería, los ríos de estos ecosistemas se alimentan principalmente de las escorrentías, así que la precipitación en las áreas productoras de agua de las cuencas es un factor importante para la presencia de la especie.

El programa de MaxEnt fue exitoso en determinar las áreas idóneas en que la especie puede distribuirse. Las variables con mayor aportación y que condicionan la presencia de la especie son: BIO 11 temperatura del trimestre más frío (25%), BIO18 precipitación del trimestre más caliente (23.5%), Modelo de Elevación (17.2%), DBO Demanda Bioquímica de Oxígeno (8.6%), BIO19 precipitación del trimestre más frío (6.1%), Solidos Suspendidos Totales (4.6%), BIO15 Estacionalidad de precipitación (3.6%) que en su conjunto tiene una aportación de 88.6%.

El ahuehuete podría ser afectado en alto grado por el cambio climático, ya que se prevé una reducción considerable en las áreas de distribución. Por lo anterior, para la protección de los ecosistemas en el que habita la especie se recomienda establecer programas de monitoreo continuo y establecer mecanismos y planes de manejo, que favorezcan su estabilidad ecológica; como es el caso de proporcionar un caudal ecológico, evitar desviaciones de agua, minimizar la contaminación de caudales, evitar daños directos al arbolado y desarrollar acciones de restauración de ser posible.

A través de los mapas desarrollados de la distribución de la especie se cuenta con información actualizada de la distribución de la especie y de las variables climáticas y de calidad de agua que favorecen o limitan su presencia. Estas variables deberán mantenerse al óptimo para asegurar la permanencia de esta especie de identidad nacional y que deber constituir un orgullo para las presentes y futuras generaciones.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abedrop, S. (2016). *Sistema Nacional de Información del Agua*. México: CONAGUA.
- Araújo, M. B., & Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 1677-1688.
- Barros, C., Mach, K., Mastrandrea, M., Aalst, M., Adger, W., Arent, D., . . . Yohe, G. W. (2014). Technical Summary. In: *Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* . Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 35-94.
- Benito de Pando, B. M. (14 de Septiembre de 2009). *Ecoinformática Aplicada a la Conservación: Simulación de Efectos del Cambio Global en la Distribución de la Flora de Andalucía*. Andalucía, Granada, España.
- Carranza, E. (1992). Familia Toxicaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. . *Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional deñ Bajío, Pátzcuaro, Michoacán.*, 7.
- Ceccon, E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias*, 72, 46-53. [En línea].
- CONABIO. (2006). *Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México.
- CONABIO. (Agosto de 2019). *Taxodium mucronatum Ten. Archivo Personal*. Obtenido de Consejo Nacional para la conservación de la Biodiversidad (CONABIO). Sistema de Información para la Reforestación (SIRE), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR): [www.conafor.gob.mx/documentos/docs/1011Taxodium mucronatum](http://www.conafor.gob.mx/documentos/docs/1011Taxodium%20mucronatum)
- CONABIO. (2020). Obtenido de Diversidad Mexicana. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.: <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/areasprot/enmexico.html>
- CONAFOR. (2013). *Bosques, Cambio Climático y REDD+ en México. Guía básica; fue elaborada por el Área de Proyectos y Mercados Forestales de Carbono adscrita a la Cordinación General de Producción y Productividad de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).*. México.
- CONAGUA. (2016). *Atlas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)*. México.
- CONAGUA, & SEMARNAT. (2014). México: Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El medio ambiente en México. Calidad del Agua.
- CONAGUA. (2015). *Atlas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)*. México.
- CONAGUA. (2019). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)*. . Obtenido de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua>

- CONANP. (2020). Obtenido de Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas:
http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm
- CONAPLOR. (15 de Diciembre de 2019). *Concetradora Nacional de Plantas Ornamentales*.
 Obtenido de <https://conaplor.com.mx/catalogo/ahuehuete/>
- Cruz, C., Balbontin, C., Paz, F., Etchevers, J., & Krasilnikov, P. (2007). Variabilidad Morfogénica de los suelos en México y su Relación con el Modelo Fisiográfico Nacional (segunda parte). *INEGI, Aguascalientes, Colegio de postgraduados Montecillo, UNAM, Distrito Federal*.
- Cruz-Cárdenas, G., López_Mata, L., Silva, J. T., Bernal-Santana, N., Estrada_Godoy, F., & López-Sandoval, J. A. (2016). Potential distribution model of Pinacea species under climate change scenarios in Michoacan. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 135-148.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2014). Selección de Predictores Ambientales para el Modelado de la Distribución de Especies en MaxEnt. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 188-200.
- Dambach, J., & Rödder, D. (2011). Applications and future challenges in marine species distribution modeling. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*, 21, 92-100.
- De Alba, F., & Martín, J. (2019). *Los Ríos Revueltos Radiografía de la Contaminación*. México : Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública .
- De la lanza, E. G., Carbajal Pérez, J. L., Salinas Rogríguez, S. A., & Barrios Ordóñez, J. E. (2012). Medición del caudal ecológico del río Acaponeta, Nayarit, comparando distintos intervalos de tiempo. *Investigaciones Geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM*, 78, 62-74.
- Del Bosque, G. I., Fernández, F. C., Forero, M. L.-M., & Pérez, A. E. (2012). *Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales*. Madrid: Apuntes de Ciencias Instrumentales y Técnicas de Investigación. 3.
- Del Mazo, A. (2018). *Revista Nuestro Ambiente. Áreas Naturales Protegidas (ANP). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAR)*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/336608/Revista_Nuestro_Ambiente_Numero_19.pdf
- Domínguez, J. (2000). *"Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)"*. Madrid: CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas).
- Dormann, C. F., Schymanski, S. j., Cabral, J., Graham, C., Harting, F., Kearney, M., . . . Singer, A. (2012). Correlation and process in species distribution models: bridging a dichotomy. *Journal of Biogeography*, 13.
- Elith, J., & Leathwick, J. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 40, 677-697.

- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., . . . Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *ECOGRAPHY*, 121-151.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologist. *Diversity and Distributions*, 17, 43-57.
- Felicísimo, Á. M. (2020). Obtenido de El modelo Digital de Elevaciones. Capítulo 2: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>
- Felicísimo, Á. M., Gómez, A., & Muñoz, J. (2004). Potential Distribution of Forest Species in Dehesas of Extremadura (Spain). In: Schnabel, S. & Ferreira, A. (eds.), *Sustainability of Agrosilvopastoral Systems-Dehesas. Advances in GeoEcology. Catena Verlag, Reiskirchen.*, 37: 231-246.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 14.
- Flores, Ó., & León, L. (1998). "Extinción de especies en México". México: UNAM, Programa Universitario de Medio Ambiente.
- Fonseca, R. M. (1994). Flora de Guerrero No. 2 Cupressaceae y Taxodiaceae. *Las prensas de Ciencias, México, D.F.* .
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana* (4 ed.). México: OFFSET Larios, México.
- GBIF. (octubre-noviembre de 2018). *Base de datos geográficos disponibles para Taxodium mucronatum Ten. en México*. Obtenido de Global Biodiversity Information Facility: <https://www.gbif.org/species/>
- Geoffrey, C. D., & Michael, A. A. (2007). Taxonomy and Nomenclature of Baldcypress, Pondcypress, and Montezuma Cypress: One, Two, or Three Species? *Hort Technology*, 17(1), 125-127.
- Goodman, J. E., & O'Rourke, J. (2004). *Handbook of Discrete and Computational Geometry*. Boca Raton London New York Washington, D.C. : Chapman & Hall/CRC.
- Graham, C. H., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C., & Peterson, A. T. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 19(9).
- Gregory, S. V., Frederick, J., Swanson, W., McKee, A., & Cummins, K. W. (1991). An Ecosystem Perspective of Riparian Zones. Focus on links between land and water. *BioScience. American Institute of Biological Sciences*, 540-551.
- Guerra, G., & F. A. (2009). Reseña "SIG: Sistemas de Información Geográfica" de Javier Guitiérrez Puebla y Michel Gould. *Geoenseñanza*, 151-154.
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 993-1009.

- Gutiérrez, E., & Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 179-188.
- Hernández, A., & Borrel, H. (2005). LOS HUMEDALES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Investigaciones Geográficas*, 127-132.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very High Resolution Interpolated Climated Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978.
- Hutchinson, G. E. (1957). Concluding Remarks. *Cold Spring Harb Sym Quant Biol.*, 415-427.
- IBUNAM, D. d. (04/07 de Julio de 2019). *Herbario Nacional de México (MEXU), Plantas Vasculares*. Obtenido de Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México.: <http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:989716>
- INEGI. (5 de Diciembre de 2013). *Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM)*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- IPCC. (1992). *Cambio Climático: Las Evaluaciones del IPCC de 1990 y 1992. Primer Informe de Evaluación del IPCC. Resumen General y los Resúmenes para Responsables de Políticas y Pulemento de 1992 del Intergovernmental Panel on Climate Change*. Canadá.
- IPCC. (2007). *Climate Change Mitigation. Contriburios of Working Group III to the Fourth Assesment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)]*. United Kingdom and New York, NY, USA.;; Cambridge University Press.
- IPCC. (2013). *Quinto Informe del IPCC Cambio Climático. Las Bases Físicas*. España .
- ISRIC, W. (5 de Diciembre de 2019). *SoilGrids-Global gridded soil information*. Obtenido de <https://www.isric.org/explore/soilgrids>
- Koc, D. E., Svenning, J. C., & Avci, M. (2018). Climate change impacts on the potential distribution of *Taxus baccata* L. in the Eastern Mediterranean and the Bolkar Mountains (Turkey) from last glacial maximum to the future. *Eurasian Journal of Forest Science-Climate Change Impacts*, 69-82.
- Ksikisi, T. S., Remya, K., Mousa, M. T., Al-Badi, S. K., Al-Kaabi, S. K., Alameemi, S. M., . . . Hassan, F. E. (2019). Climate change-induced species distribution modelin in hyper-arid ecosystems. [version 1; peer review: awaiting peer review] *F1000Research. Department of Biology, United Arab Emirates University, Al Ain, Abu Dhabi, United Arab Emirates*, 8:978.
- Lobo, J. M., Jiménez, A., & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17, 145-151.
- López, E., Posada, C., & Moreno, J. G. (1998). *Los Sistemas de Informacion Geográfica*. Andalucía: Universidad de Sevilla.

- Lorenzo, L. T. (2015). *Diccionario de Geografía aplicada y profesional. Terminología de análisis, planificación y gestión del territorio*. Universidad de León.
- Malanson, G. (1996). *Riparian Landscapes. Book Review*. Cambridge: University of Cambridge. doi:doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199605)21:5<490::AID-ESP528>3.0.CO;2-A
- Martínez, & M. (1953). Las Pináceas Mexicanas. *Universidad Nacional Autónoma de México. Secretaria de Agricultura y Ganadería México, D.F. STANDLEY*.
- Martínez, A. (1999). El Ahuehuete. *CONABIO. Biodiversitas, 25*, 12-14.
- Martínez, D. R., Albín, J. L., Cabaleiro, J. C., Pena, T. F., Rivera, F. F., & Blanco, V. (2009). El criterio de Información de Akaike en la Obtención de Modelos Estadísticos de Rendimiento. *XX Jornadas de Paralelismo*, 439-444.
- Mateo, R. G., Felicísimo, A. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural, 84*, 217-240.
- Medina, R. L., & Dávila, P. A. (1997). FLORA DEL VALLE DE TEHUACÁN-CUICATLÁN. Fascículo 12. Gymnospermae Lindl. *Departamento de Botánica Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D.F.*, 25.
- Mendoza, M., Quevedo Nolasco, A., Bravo Vinaja, Á., Flores Magdaleno, H., De la Isla de Bauer, M. d., Gavi Reyes, F., & Zamora Morales, B. P. (2014). Estado Ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva ley general de aguas de México. *Rev. Int. Contm. Ambiente*, 429-436.
- Mittermeier, R., & Goettsch, C. (1992). La importancia de la diversidad biológica de México. en: México ante los retos de la biodiversidad. *CONABIO, México*, pp. 57-62.
- Mittermeier, R., Goettsch, C., & Robles, P. (1997). México.: CEMEX, México. Megadiversidad. Los países Biológicamente más rico del mundo.
- Muscarella, R., Galante, P. J., Soley-Guardia, M., Boria, R. A., Kass, J. M., Uriarte, M., & Anderson, R. P. (2014). ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for MAXENT ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*, 9.
- Naiman, R. J., Decamps, H., & Pollock, M. (1993). The Role of Riparian Corridors in Maintaining Regional Biodiversity. *Ecological Applications*, 209-212.
- Osorio, O. L., Vijay, B., Narayani, B., Soberón, J., & Falconi, M. (2018). *Ntbox: From getting biodiversity data to evaluating species distribution models in a friendly GUI environment. R. package version 0.2.5.4*. Obtenido de <https://github.com/luismurao/ntbox>
- Osorio-Olvera, L. A., Falconi, M., & Soberón, J. (2016). Sobre la relación entre la idoneidad del hábitat y la abundancia poblacional bajo diferentes escenarios de dispersión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 1080-1088.
- Pearson, R. (2010). Species Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. *Lesson in conservation*, Vol. 3, pp.54-89.

- Peterson, A. T., Papes, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *ELSEVIER*, 63-72.
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161-175.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40, 887-893.
- Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259.
- Pramanik, M., Paudel, U., Mondal, B., Chakraborti, S., & Deb, P. (2018). Predicting climate change impacts on the distribution of the threatened *Garcinia indica* in the Western Ghats, India. *Climate Risk Management*, 94-105.
- Qin, A., Liu, B., Guo, Q., Bussmann, R. W., Ma, F., Jian, Z., . . . Pei, S. (2017). Maxent modeling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of *Thuja sutchuenensis* Franch., an extremely endangered conifer from southwestern China. *Global Ecology and Conservation*, 139-146.
- Quinn, J. M., Williamson, R. B., Smith, R. K., & Vickers, M. L. (1992). Effects of riparian grazing and channelisation on streams in Southland, New Zealand. 2. Benthic invertebrates. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 26, 259-273.
- R Core Team. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. Obtenido de R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.: <https://www.R-project.org/>.
- REMIB. (24 de Marzo de 2015). *Red Mundial de Información sobre la Biodiversidad*. Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/bdremib.html>
- Rzedowski. (2006). *Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Capítulo 19 Vegetación acuática y Subacuática*. México: Limusa, S. A.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. México: LIMUSA. México, D.F.
- SEMARNAT. (1999). *Extracto del documento Biodiversidad, Primera Edición SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a cargo del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable*.
- SEMARNAT. (2012). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Capítulo 6 Calidad del Agua. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*. México.
- Silva, A., & Berovides, V. (1982). *Acerca del concepto de nicho ecológico*. Cuba: Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) & Facultad de Biología, Universidad de la Habana.
- SINA. (2018). Obtenido de http://sina.conagua.gob.mx/sina/functions/PDFs/EMCA_SST_2018.pdf
- SINA. (2018). Obtenido de http://sina.conagua.gob.mx/sina/functions/PDFs/EMCA_DBO_2018.pdf

- SINA. (2020). Obtenido de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=precipitacion&ver=grafica&o=2&n=nacional>
- SoilGrids. (diciembre de 2018). *ISRIC World Soil Information*. Obtenido de https://soilgrids.org/#!/?!?layer=TAXNWRB_250m&vector=1
- Stalin, N., & Swamy, P. (2015). Prediction of suitable habitats for *Syzygium caryophyllatum*, an endangered medicinal tree by using species distribution modelling for conservation planning. *European Journal of Experimental Biology.*, 12-19.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science*, 1285-1292.
- Tamayo, J. L. (1993). *Geografía moderna de México*. México: Trillas.
- Tiessen, H., & Stewart, J. W. (2000). Applying Ecological Knowledge to Land Use Decisions. *SCOPE, IAI and IICA.*, 159.
- Timoney et al. (1997). Vegetation development of boreal riparian plant communities after flooding, fire and logging, Peace River, Canada. *Forest Ecology and Management Elsevier Science Amsterdam*, 93, 101-120.
- UNAM. (octubre-noviembre de 2018). *Herbario Nacional MEXU del Instituto de Biología*. Obtenido de Universidad Nacional autónoma de México.: <http://www.ib.unam.mx/botanica/herbario/>
- VanDerWal, J., Shoo, L. P., Johnson, C. N., & Williams, S. E. (2009). Abundance and the Environmental Niche: Environmental Suitability Estimated from Niche Models Predicts the Upper Limit of Local Abundance. *THE AMERICAN NATURALIST*, 11.
- Villanueva Díaz, J., Constante García, V., Cerano Paredes, J., Estrada Ávalos, J., & Tostado Plascencia, M. M. (2013). Impacto de las represas en *Taxodium mucronatum* Ten. en el Río de San Pedro-Mezquitil, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(18), 44-56.
- Villanueva Díaz, J., Stahle, D., Cerano Paredes, J., Therrell, M., Martínez, R., & Cleveland, M. (2007). Potencia dendrocronológica de *Taxodium mucronatum* Ten. y acciones para su conservación en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 32(101), 9-37.
- Villanueva, D. J., Constante, G. V., Cerano, P. J., Martínez, S. A., Stahle, D., & Estrada, A. J. (2013). Fenología y Crecimiento radial del Sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el Río San Pedro Mezquitil, Durango. *INIFAP, CENID-RASPA. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.*, 33.
- Warren, D. L., & Seifert, S. N. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications*, 335-342.
- West, A. M., Kumar, S., Brown, C., Stohlgren, T. J., & Bromberg, J. (2016). Field validation of an invasive species Maxent model. *Ecological Informatics*, 36, 126-134.

- Whittaker, R., Levin, S., & Root, R. (May- Jun de 1973). Niche, Habitat, and Ecotope. *The American Naturalist*, 107(955), 321-338.
- Xu, D., Zhou, Z., Wang, R., Ye, M., & Pu, B. (2019). Modeling the distribution of *Zanthoxylum armatum* in China with MaxEnt modeling. *Global Ecology and Conservation*. ELSEVIER, 9.
- Yilmaz, O. Y., & Yilmaz, H. (2016). Bioclimatic Factors Affecting the Distribution of *Quercus Robur L.* (Pendunculate Oak) Supspecies in Turkey. *Eurasian Journal of Forest Science* , 31-39.
- Zanoni, T. A. (1982). Flora de Veracruz, Fascículo 25, Taxodiaceae. *Instituto Nacional de Investigación sobre Recursos Bióticos*, 9.