



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.812>

Artículo

**Distribución potencial de *Prosopis Laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd. M.C. Johnst en el estado de Hidalgo, México**

**Potential distribution of *Prosopis Laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd. M.C. Johnst in the state of Hidalgo, Mexico**

Abraham Palacios Romero<sup>1\*</sup>, Edith Jiménez Muñoz<sup>2</sup>, Rodrigo Rodríguez Laguna<sup>3</sup> y Ramón Razo Zárate<sup>3</sup>

**Abstract**

*Prosopis laevigata* (Mezquite) has a wide geographic distribution in the Mexican Republic and is a valuable resource in arid and semi-arid zones due to its ecological functions and the use of its wood for various uses; however, due to overexploitation they have had, their natural range has been markedly reduced. Based on the above, the objective of this study was to delimit potential areas for the establishment of this species in the state of *Hidalgo*, Mexico. For this, the MaxEnt algorithm was used ver. 3.3.3 to determine the potential distribution of mesquite, which was validated with the help of ROC analysis. The Jackknife test was used to identify limiting factors in the potential distribution of the species. The analysis of the data indicated that the factors of climate type, temperature and humidity are the most relevant to define potential areas of establishment; while evapotranspiration, soil science and geology were less important. The obtained model revealed an availability of 83 438 ha where mesquite can be established and they are mainly concentrated in the central region of the state. Therefore, it is concluded that the state of Hidalgo has large areas where mesquite can be developed.

**Key words:** Potential area, species distribution, MaxEnt, mesquite, ecological niche, reforestation.

**Resumen**

*Prosopis laevigata* (mezquite) tiene una distribución geográfica amplia en la república mexicana y es un recurso valioso en zonas áridas y semiáridas por sus funciones ecológicas y el aprovechamiento de su madera para diversos usos; sin embargo, debido a la sobreexplotación que ha tenido, su área de distribución natural se ha reducido de forma notoria. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue delimitar zonas potenciales para el establecimiento de esta especie en el estado de Hidalgo, México. Para ello, se utilizó el algoritmo *MaxEnt* ver. 3.3.3 para determinar la distribución potencial del mezquite, la cual fue validada con ayuda del análisis *ROC*. Se aplicó la prueba *Jackknife* para identificar los factores limitantes en la distribución potencial del taxón. El análisis de los datos indicó que los factores del clima: temperatura y humedad son los más relevantes para definir áreas potenciales de establecimiento; mientras que, la evapotranspiración, edafología y geología fueron menos importantes. El modelo obtenido reveló una disponibilidad de 83 438 ha donde el mezquite puede desarrollarse y se concentran, principalmente, en la región central de la entidad. Por ello, se concluye que el estado de Hidalgo posee amplias zonas en las que es factible plantar (reforestar) *P. laevigata*.

**Palabras clave:** Área potencial, distribución de especies, *MaxEnt*, mezquite, nicho ecológico, reforestación.

Fecha de recepción/Reception date: 30 de junio de 2020  
Fecha de aceptación/Acceptance date: 9 de noviembre de 2020

<sup>1</sup>Departamento de Bioingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Campus Hidalgo. México.

<sup>2</sup>Escuela Superior de Apan, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias, Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

\* Autor por correspondencia; correo-e: abraham.palacios@tec.mx

## Introducción

Una metodología desarrollada para las investigaciones en conservación biológica conduce a la estimación de las áreas de distribución potencial, a partir del modelado de nicho ecológico (Finch *et al.*, 2006), pues proporciona información acerca de la tolerancia de los taxones a factores abióticos, permite evaluar su afinidad respecto a factores ambientales y ayuda a determinar la probabilidad de presencia o establecimiento en un espacio geográfico (Mitov y Stoyanov, 2005). Los modelos de nicho ecológico son la principal herramienta para determinar la distribución potencial de especies (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2014), ya que consideran los componentes ambientales de las localidades donde habitan los taxa (Finch *et al.*, 2006). Los modelos basados en sistemas de información geográfica utilizan datos sobre distintas características físico-geográficas y climáticas para definir áreas óptimas para el emplazamiento de especies vegetales con buenos resultados *a priori* (Anderson *et al.*, 2003; Téllez *et al.* 2004; Palacios *et al.*, 2016).

*Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. es una especie nativa de México, que posee una amplia distribución geográfica, ecológica y es considerada como un valioso recurso para los habitantes de las zonas áridas y semiáridas del país (Villanueva *et al.*, 2004). De ella se obtienen diversos bienes y servicios como leña, goma, materiales de construcción, alimento, forraje, néctar para la apicultura, sombra para animales, medicinas, entre otros. Además, desempeña importantes funciones ecológicas, ya que es fijadora de suelo y, por lo tanto, previene y controla la erosión, fija nitrógeno en el suelo y provee alimento y refugio a la fauna silvestre (Rodríguez *et al.*, 2014).

En el estado de Hidalgo, *P. laevigata* está siendo muy utilizado en proyectos agroforestales, debido a su versatilidad (Sánchez *et al.*, 2017) y por su alto valor nutricional se le considera como un superalimento (Díaz-Batalla *et al.*, 2018). Asimismo, diversos estudios indican que, por su rápido crecimiento, es un taxón viable para la producción de alimento para el ganado ovino (Buzo *et al.*, 1972; Sawal *et al.*, 2004), la cual es una de las principales actividades económicas del estado; en la actualidad es el segundo productor a nivel nacional y el principal proveedor de carne de ovino para la Ciudad de México (Vélez *et al.*, 2017).

El mezquite, a pesar de su gran área de distribución, presenta una alta tasa de disminución de superficie especialmente notoria en las entidades del norte y centro del territorio nacional (Ríos *et al.*, 2011). Y, ante su enorme potencial nutricional y gran diversidad de formas de aprovechamiento resulta prioritario implementar planes de manejo que eviten poner en riesgo a sus poblaciones silvestres y que promuevan su uso sustentable. Con base en lo anterior, se pretenden delimitar, a través de un modelo de nicho ecológico, espacios aptos para su establecimiento potencial en el estado de Hidalgo.

## Materiales y Métodos

Hidalgo se localiza en la parte central del Eje Neovolcánico Transversal, y el sur de la Sierra Madre Oriental de la república mexicana (Figura 1). Los climas predominantes son: Templado subhúmedo C(w), Semiseco templado BS1k y Semicálido húmedo ACf (Inegi, 2017). La temperatura media anual es de 16 °C, la mínima del mes más frío (enero) de 4 °C y la máxima, de 27 °C. Reúne una gran diversidad de especies vegetales y climas por la variación regional altitudinal de la entidad (154 a 3 350 m) (INEGI, 2014).



**Figura 1.** Ubicación del estado de Hidalgo en la república mexicana.

Para realizar la modelación del nicho ecológico, se obtuvieron datos sobre variables climáticas, edafológicas, geológicas y de altimetría. Las edafológicas, a partir de archivos vectoriales de las coberturas de escala 1:250 000 de la carta geológico-minera digital F14-11 (INEGI, 2007); las geológicas, del conjunto de datos vectoriales edafológicos serie II de Inegi (INEGI, 2007); por último, las de tipo climático se obtuvieron de la “cobertura de unidades climáticas” de Inegi (INEGI, 2008). La altimetría se basó en el “Continuo de elevaciones mexicano 3.0” de Inegi, con resolución de 120 m (INEGI, 2013). Las variables climáticas se determinaron con datos de evapotranspiración, humedad relativa, humedad del suelo, precipitación, radiación y temperatura media procedentes de la Red Meteorológica del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Una vez reunida la información necesaria para modelar la distribución potencial, se generaron los archivos *raster* para todas las variables ya que este es el único formato que acepta el programa con el cual se realizó la modelación. Las variables de edafología, tipo de clima y geología se transformaron en variables *raster* a través del método de reclasificación, así como la homogenización del tamaño de celda a 120 m. Para el modelo digital de elevaciones, se modificó el tamaño de la celda y se ajustó al tamaño del resto de las imágenes *raster* con la herramienta de “Remuestrear” de *Arcview* (Cuadro 1).



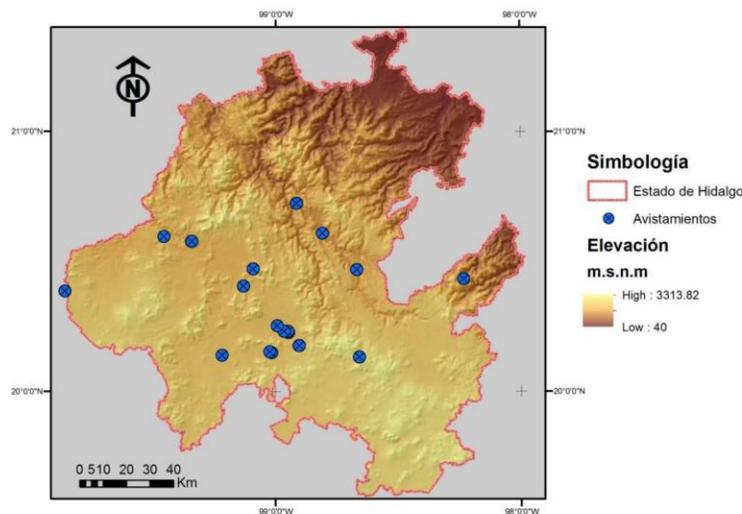
**Cuadro 1.** Datos climáticos y ambientales usados en el modelo *MaxEnt*.

Variable	Fuente*	Tipo de datos (crudo)	Método de conversión a <i>raster</i>
Altitud	Inegi	Imagen <i>raster</i>	Ajuste de tamaño de celda y de la imagen.
Cima	Inegi	Polígono vectorial	Reclasificación y conversión a <i>raster</i> , ajuste en el tamaño de celda y de la imagen.
Edafología	Inegi	Polígono vectorial	Reclasificación y conversión a <i>raster</i> , ajuste en el tamaño de celda y de la imagen.
Evapotranspiración	INIFAP	Tabla de estaciones con georreferencia transformado a archivo vectorial de puntos	Generación de semivariograma y aplicación de <i>Kriging</i>
Geología	SGM	Polígono vectorial	Reclasificación y conversión a <i>raster</i> , ajuste en el tamaño de celda y de la imagen
Humedad relativa	INIFAP	Tabla de estaciones con georreferencia transformado a archivo vectorial de puntos	Generación de semivariograma y aplicación de <i>Kriging</i>
Humedad del suelo	INIFAP	Tabla de estaciones con georreferencia transformado a archivo vectorial de puntos	Generación de semivariograma y aplicación de <i>Kriging</i>
Precipitación	INIFAP	Tabla de estaciones con georreferencia transformado a archivo vectorial de puntos	Generación de semivariograma y aplicación de <i>Kriging</i>
Radiación	INIFAP	Tabla de estaciones con georreferencia transformado a archivo vectorial de puntos	Generación de semivariograma y aplicación de <i>Kriging</i>
Temperatura media	INIFAP	Tabla de estaciones con georreferencia transformado a archivo vectorial de puntos	Generación de semivariograma y aplicación de <i>Kriging</i>

\* Inegi = Instituto Nacional de Estadística y Geografía; INIFAP = Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; SGM = Servicio Geológico Mexicano.

Para las variables climáticas, se recopilaron datos históricos de la Red Meteorológica del INIFAP. A esos datos se les aplicó el método de interpolación de *Kriging* para generar una imagen *raster* de precipitación y temperatura. Este método es ampliamente usado para estimar la variación de variables espaciales con datos locales relacionadas al clima como la precipitación y la temperatura (Teegavarapu y Chandramouli, 2005; Galindo *et al.*, 2010; Andrade y Moreano, 2013).

Para determinar la distribución potencial de *P. laevigata* en el estado de Hidalgo, se utilizó el algoritmo *MaxEnt* 3.3.3, el cual estima la probabilidad de que una especie se encuentre en un punto determinado (Drake, 2014). Se obtuvieron puntos georreferidos del mezquite (Figura 2) en la *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, 2016), organización internacional encargada de recabar datos científicos sobre biodiversidad, los cuales son proporcionados por instituciones, herbarios, universidades y otras organizaciones alrededor del mundo. Antes de introducirlos al algoritmo, se redujo el tamaño de la muestra mediante una selección aleatoria, para disminuir el efecto de la autocorrelación espacial y al final se introdujeron 19 puntos georreferidos. Se eligió este algoritmo porque su desempeño se considera como muy bueno; además de que genera resultados adecuados con tamaños de muestra pequeños (Plasencia-Vázquez *et al.*, 2014).



**Figura 2.** Geolocalización de avistamientos registrados de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. en el estado de Hidalgo.

La configuración seleccionada del modelo *MaxEnt* para determinar la distribución potencial de *P. laevigata* fue la función logística. En la calibración del modelo se especificaron 500 iteraciones y el límite de convergencia se fijó en 0.00001 (valor por omisión). El valor de regularización se determinó en 1.0 (valor por defecto), ya que esto permite al algoritmo modelar una distribución más localizada y que se ajuste a los registros de presencia. El modelo fue calibrado con los parámetros estándar que tiene por defecto *MaxEnt* 3.3.3.

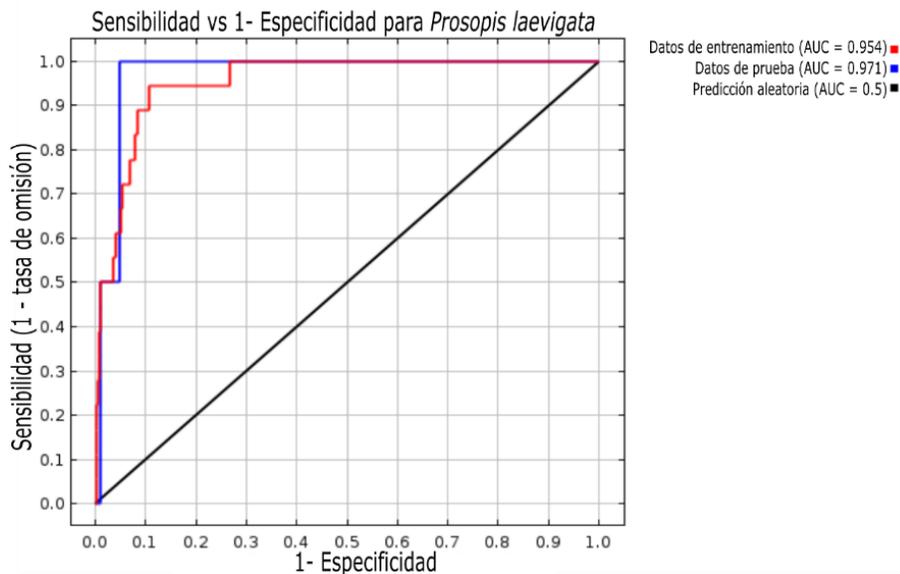
Se utilizó el análisis del área bajo la curva (AUC) de la función *ROC* (*Receiver Operating Characteristic*) para validar el modelo (López y Fernández, 1998; Palacios *et al.*, 2016). La curva AUC de la función *ROC* es una medida que muestra la capacidad de discriminación del modelo con valores que fluctúan de cero a uno, en los que 0.5 indica que el ajuste del mismo no es mejor que uno obtenido al azar; es decir, cuanto más próximos a uno los datos de entrenamiento y de prueba, el modelo es más correcto (Ávila *et al.*, 2014).

Las variables climáticas más importantes asociadas a la especie se determinaron con la prueba de *Jackknife*, con base en la cual se genera un gráfico de las contribuciones de cada una de las variables al modelo.

## Resultados y Discusión

La elección del mejor modelo se realizó de acuerdo con su validación, ya que se buscó que las curvas de entrenamiento y de datos del análisis *ROC* describieran un ajuste similar y cercano entre sí. Ello implica que el ajuste del modelo es óptimo y señala la ausencia de errores de omisión (Figura 3); puesto que, entre más cerca se ubiquen las líneas de entrenamiento y prueba, el modelo describe mejor la realidad (de Pando y Peñas, 2007).

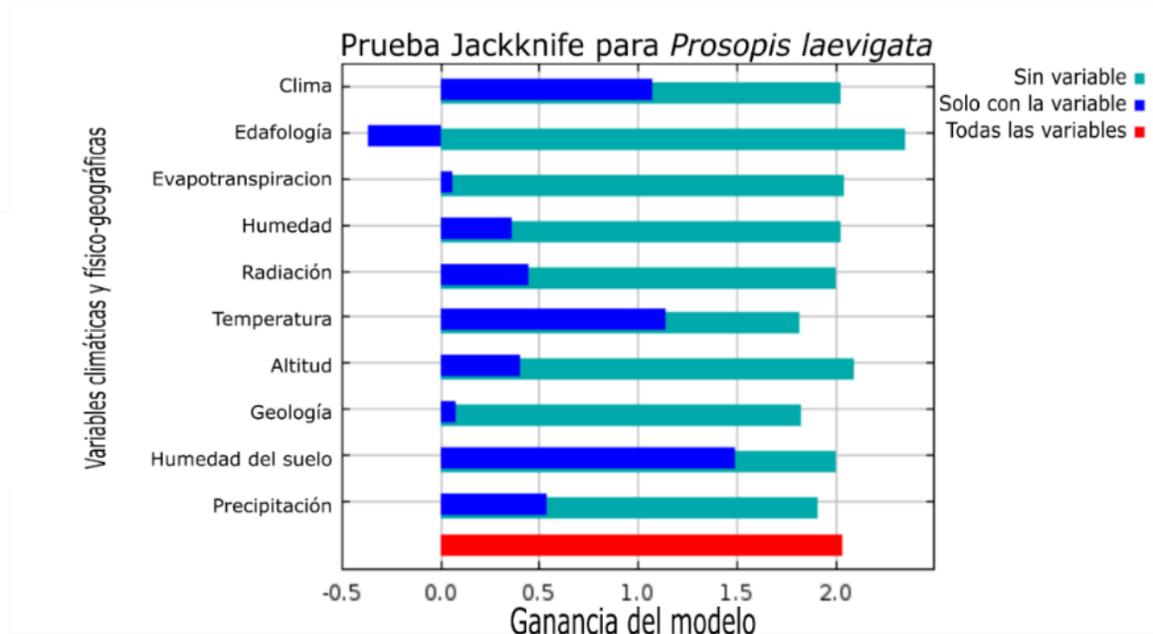




**Figura 3.** Resultados del análisis de área bajo la curva (ROC).

El valor AUC del ensayo fue de 0.954 para los datos de entrenamiento y de 0.971 para los de prueba (Figura 3), lo que se interpreta como un ajuste excelente, ya que estadísticamente el modelo define una distribución precisa para la especie. Estos resultados son similares a los obtenidos por Contreras-Medina *et al.* (2010) y Ávila *et al.* (2014), quienes registraron valores AUC de 0.997 y 0.971 para *Taxus globosa* Schltld. y *Pinus herrerae* Martínez, respectivamente; y concluyeron que sus valores fueron precisos.

De acuerdo con la prueba *Jackknife*, las variables de edafología, evapotranspiración y geología aportaron menos al modelo; porque con el uso individual, la ganancia es muy baja, y en la edafología es negativa. Además, al descartarla junto con la evapotranspiración, el modelo tiene una ganancia mayor, respecto al uso de las demás variables (Figura 4). Lo anterior se corrobora por la información ecológica de la especie, ya que al ser un taxón nativo en amplias zonas de México, se esperarían pocos problemas para adaptarse a distintos tipos de suelo y a condiciones de evapotranspiración variables (Rodríguez *et al.*, 2014); por lo que se espera que esas variables tengan poca relevancia en el análisis.

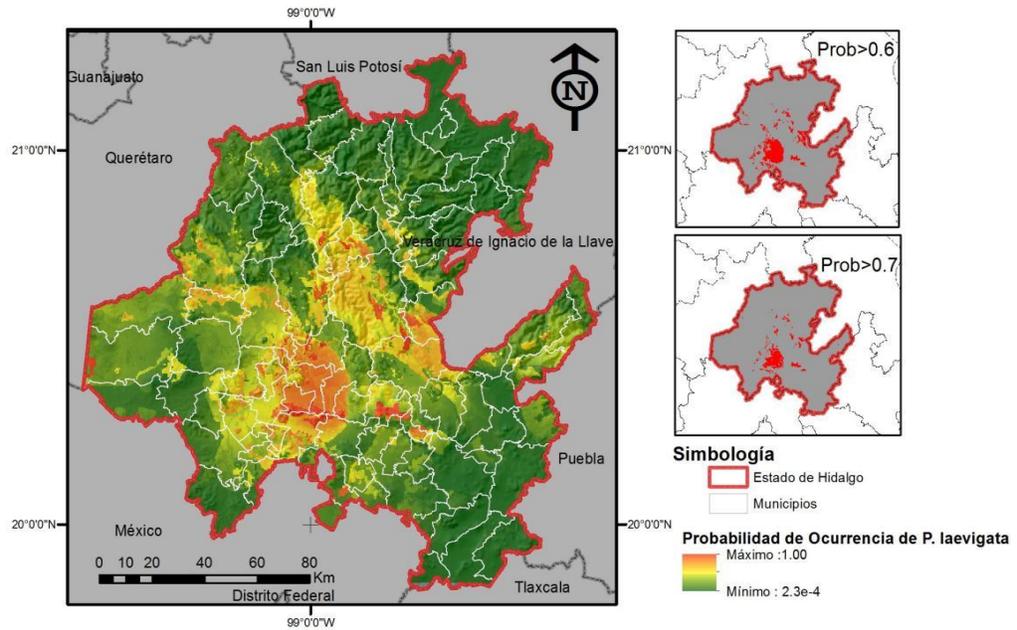


**Figura 4.** Contribuciones de las variables utilizadas al modelo.

Las variables más trascendentes en la prueba *Jackknife* fueron la humedad en suelo, la temperatura y el tipo de clima; ya que son las que individualmente tienen la mayor ganancia en el modelo. Esto es atribuible a que la especie es propia de zonas áridas y semiáridas, por lo que sus mecanismos fisiológicos de absorción y conservación de agua son afectados en condiciones ambientales diferentes a las prevalentes en las regiones de las que proceden (Villanueva *et al.*, 2004).

La altitud no tuvo una gran repercusión en la distribución potencial de *P. laevigata* (Figura 4); lo que se explica porque el mezquite se distribuye en un amplio intervalo altitudinal (desde 0 hasta 2 200 m) (Rodríguez *et al.*, 2014).

El mapa final de distribución potencial del mezquite indica que las zonas aptas se localizan, principalmente, en la parte central del estado que corresponde al oriente de la región conocida como Valle del Mezquital, y suman un total de 83 437.574 ha (probabilidad > 0.70) (Figura 5).



**Figura 5.** Distribución geográfica potencial de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. en el estado de Hidalgo.

Tradicionalmente, se considera que los mezquites son plantas capaces de adaptarse a una gran variedad de climas; por lo que en una primera aproximación resulta extraño que el área óptima de distribución potencial en Hidalgo sea tan restringida. Sin embargo, Guevara *et al.* (2008) citan que *P. laevigata* puede requerir de condiciones mucho más específicas que otras especies del género.

Al comparar la distribución potencial definida en el presente estudio con la distribución natural que refiere Palacios (2006), existe concordancia entre la observada y la calculada, lo que confirma que el tipo de modelo utilizado predice, efectivamente, la disposición territorial de las especies. También, los resultados obtenidos se respaldan en el trabajo de Palacios *et al.* (2016), pues los autores abordaron la misma especie pero en una zona más amplia (tres provincias fisiográficas).

En los municipios San Salvador, Actopan, Francisco I. Madero, Santiago de Anaya, Metztitlán, El Arenal, San Agustín Metzquititlán, Ajacuba, Mineral del Chico, Cardonal, Atotonilco El Grande y Eloxochitlán se ubican las mayores áreas con una alta idoneidad de establecimiento de la especie ( $P > 0.7$ ) (Cuadro 2). Estos municipios tienen climas áridos y semiáridos (Chávez *et al.* 2001); lo que muestra que el modelo es acorde con la realidad, ya que todos los registros de la especie corresponden a regiones con ese tipo de clima (Villanueva *et al.*, 2004).

**Cuadro 2.** Municipios con mayor superficie potencial para *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst.

<b>Municipio</b>	<b>Hectáreas potenciales</b>	<b>% de municipio</b>
San Salvador	14 103.20	39.77
Actopan	9 441.06	34.77
Francisco I. Madero	8 722.03	82.96
Santiago de Anaya	8 664.01	33.85
Metztitlán	5 834.09	7.27
El Arenal	4 386.30	32.46
San Agustín Metzquititlán	4 346.95	17.56
Ajacuba	4 325.43	17.11
Mineral del Chico	4 006.69	20.82
Cardonal	3 063.32	5.16
Atotonilco el Grande	2 987.33	6.58
Eloxochitlán	2 102.17	8.81
Mixquiahuala de Juárez	1 806.89	15.71
San Agustín Tlaxiaca	1 724.14	5.71
Mineral del Monte	1 344.27	24.90
Tolcayuca	1 089.45	9.24
Progreso de Obregón	737.21	8.12
Tlahuiltepa	725.00	25.35
Omitlán de Juárez	422.01	5.33

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que *P. laevigata* puede establecerse idóneamente en 83 437 ha del estado de Hidalgo. La mayor parte de estas extensiones se localizan en la región central del estado.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### Contribución por autor

Abraham Palacios Romero: desarrollo de la investigación, análisis e interpretación de resultados; Edith Jiménez Muñoz: análisis de datos, estructura y diseño del manuscrito; Rodrigo Rodríguez Laguna: interpretación y análisis de los resultados obtenidos, así como corrección de manuscrito; Ramón Razo Zárate: interpretación de datos y corrección del manuscrito.

### Referencias

Anderson, R. P., D. Lew and A. Townsend Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162(3):211–232. Doi: 10.1016/S0304-3800(02)00349-6.

Andrade C., L. S. y R. Moreano. 2013. Sistema de información para la interpolación de datos de temperatura y precipitación del Ecuador. *Revista Politécnica* 32 (1): 70-75.

Ávila, R., R. Villavicencio G. y J. A. Ruiz C. 2014. Distribución potencial de *Pinus herrerae* Martínez en el occidente del estado de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(24):92–109. Doi:[10.29298/rmcf.v5i24.322](https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.322).

Buzo, J., R. Ávila y F. O. Bravo. 1972. Efecto de la substitución Progresiva de sorgo por vaina de mezquite en la alimentación de los borregos. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 20:16–23.

Contreras-Medina, R., I. Luna-Vega y C. A. Ríos-Muñoz. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* 83:421–433 Doi: 10.4067/S0716-078X2010000300009.

Cruz-Cárdenas, G., J. L. Villaseñor, L. López-Mata, E. Martínez-Meyer y E. Ortiz. 2014. Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo, Serie. Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(2):187–201. Doi: [10.5154/r.rchscfa.2013.09.034](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.034).

Chávez S., E., R. Sousa G., J. Quintela F., S. Montiel R., J. J. Domínguez T., V. Richards E., A. Conde A., F. Chávez A., L. Serrano P., A. Cuevas M., A. Gómez R., H. García M., P. Camarillo, J. Nájera R., F. A. Damían G. y A. de J. Damían G. 2001. Ordenamiento ecológico territorial del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hgo., México. 400 p.

De Pando, B. B., y J. Peñas de G. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península ibérica. *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* (7):100–119 <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/113/275> (2 de enero de 2020).

Díaz-Batalla, L., J. P. Hernández-Uribe, A. D. Román-Gutiérrez, R. Cariño-Cotés, J. Castro-Rosas, A. Téllez-Jurado and C. A. Gómez-Aldapa. 2018. Chemical and nutritional characterization of raw and thermal-treated flours of mesquite (*Prosopis laevigata*) pods and their residual brans. *CYTA-Journal of Food* 16(1):444–451. Doi: 10.1080/19476337.2017.1418433.

Drake, J. M. 2014. Ensemble algorithms for ecological niche modeling from presence-background and presence-only data. *Ecosphere*. 5(6):1–16. Doi:10.1890/ES13-00202.1.

Finch, J. M., M. J. Samways, T. R. Hill, S. E. Piper and S. Taylor. 2006. Application of predictive distribution modelling to invertebrates: Odonata in South Africa. *Biodiversity & Conservation* 15(13):4239–4251. Doi:[10.1007/s10531-005-3577-z](https://doi.org/10.1007/s10531-005-3577-z).

Galindo, E., E. M. Otazo, L. R. Reyes, S. M. Arellano, A. Gordillo, y C. A. González. 2010. Balance hídrico y afectaciones a la recarga para el año 2021 en el acuífero Cuautitlan Pachuca. *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* (10):65–90.

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). 2016. GBIF Occurrence <http://api.gbif.org/v1/occurrence/download/request/0001958-160509122628363.zip> (1 de octubre de 2016).

Guevara E., A., E. González S., H. Suzán A., G. Malda B., M. Martínez, D. M. Gómez S., Y. Hernandez S., L. Pantoja H. y D. Olvera V. 2008. Distribución potencial de algunas leguminosas arbustivas en el altiplano central de México. *Agrociencia*. 42:703–716.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía Informática (INEGI). 2007. Carta edafológica Serie II, Escala 1:250 000. Formato vectorial. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/default.html?t=0150006000000000&ag=28> (1 de septiembre de 2017).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2008. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825236182> (1 de septiembre de 2017).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0, CEM 3.0. Aguascalientes, Ags., México.

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx> (1 de septiembre de 2017).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía Informática (INEGI). 2014. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2013. INEGI. Pachuca, Hgo., México. 583 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía Informática (INEGI). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2017. Anuario estadístico y geográfico Hidalgo 2017.

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/hgo/> (1 de septiembre de 2018).

López de U., G. I., y P. Fernández S. 1998. Curvas ROC. Cad Atención Primaria 5(4):229–235.

Mitov, P. G. and I. L. Stoyanov. 2005. Ecological profiles of harvestmen (Arachnida, Opiliones) from Vitosha Mountain (Bulgaria): A mixed modelling approach using gams. The Journal of Arachnology 33(2):256–268.

Palacios A., R. 2006. Los mezquites mexicanos : biodiversidad y distribución geográfica. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 41(1–2):99–121.

Palacios R., A., R. Rodríguez L., M. de la L. Hernández F., E. Jiménez M. y D. Tirado T. 2016. Distribución potencial de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston basada en un modelo de nicho ecológico. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 7(34):35–46. Doi: 10.29298/rmcf.v7i34.81.

Plasencia-Vázquez, A. H., G. Escalona-Segura y L. G. Esparza-Olguín. 2014. Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. Acta Zoológica Mexicana 30(3):471–490. Doi:[10.21829/azm.2014.30372](https://doi.org/10.21829/azm.2014.30372).

- Ríos S., J. C., J. A. López H., R. Rosales S., R. Trucíos C. y A. G. Valles G. 2011. Conservación y manejo de germoplasma del mezquite. P. 220. *In*: Ríos S., J. C., R. Trucíos C., L. M. Valenzuela N., G. Sosa P. y R. Rosales S. (eds.). Importancia de las poblaciones de mezquite en el Centro-Norte de México. INIFAP. Gómez Palacio, Dgo., México. pp. 79-105.
- Rodríguez S., E. N., G. E. Rojo M., B. Ramírez V., R. Martínez R., M. de la C. Cong H., H. H. Piña R. y S. M. Medina T. 2014. Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai* 10(3):173–193.
- Sánchez H., M. Á., E. Hernández A., D. Cristóbal A., M. Uribe G., P. Díaz V. y A. Lara B. 2017. Sistema agroforestal coquia-mezquite establecido en suelos del Distrito de Riego Tulancingo, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (16):3207. Doi: [10.29312/remexca.v0i16.390](https://doi.org/10.29312/remexca.v0i16.390).
- Sawal, R. K., R. Ratan and S. B. S. Yadav. 2004. Mesquite (*Prosopis juliflora*) pods as a feed resource for livestock - a review. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 17(5):719–725. Doi: 10.5713/ajas.2004.719.
- Teegavarapu, R. S. V. and V. Chandramouli. 2005. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. *Journal of Hydrology* 312(1–4):191–206. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.02.015.
- Téllez V., O., Y. M. Chávez H., A. Gómez-Tagle C. y M. V. Gutiérrez G. 2004. Modelado bioclimático como herramienta para el manejo forestal: Estudio de cuatro especies de *Pinus*. *Ciencia Forestal en México*. 29(95):61–82.
- Vélez, A., J. A. Espinosa, L. De la Cruz, J. Rangel, I. Espinoza and C. Barba C. 2017. Caracterización de la producción de ovino de carne del estado de Hidalgo, Mexico. *Archivos de Zootecnia* 65(251):425. Doi: [10.21071/az.v65i251.70](https://doi.org/10.21071/az.v65i251.70).

Villanueva D., J., R. Jasso I., E. H. Cornejo O. y C. Potisek T. 2004. El mezquite en la Comarca Lagunera. Su dinámica, volumen maderable y tasas de crecimiento anual. *Agrofaz*. 4(2):633–648.



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