



# Modelo de la distribución potencial de *Pinus pinceana* Gord en el noreste de México

José Israel López Martínez\*, Jonathan Jesús Marroquín Castillo\*,  
Eduardo Javier Treviño Garza\*

DOI: 10.29105/cienciauanl21.89-4

## RESUMEN

La modelación de la distribución potencial de una especie permite identificar su posible rango de distribución natural. El objetivo del presente trabajo fue conocer la distribución potencial de *Pinus pinceana* en el noreste de México mediante una estrategia de modelamiento espacial. Se consideraron datos de ocurrencia de la especie y 19 variables bioclimáticas. El modelo fue generado aplicando el algoritmo de máxima entropía mediante el programa MaxEnt ver. 3.3.3k. El estado con mayor superficie con condiciones de aptitud alta fue Coahuila (8,523 km<sup>2</sup>), mientras que la mayor superficie en condiciones de aptitud media se registró en Nuevo León (9,663 km<sup>2</sup>).

**Palabras clave:** nicho ecológico, datos de ocurrencia, variables bioclimáticas, algoritmo de máxima entropía.

El término megadiversidad, acuñado por Mittermeier a finales de los noventa, resalta la existencia en algunas regiones de la Tierra de un gran número de especies de distintos grupos. Es un término y un concepto que ha tenido éxito. Bajo muy diversos enfoques: número de especies, número de endemismos, etcétera, México está entre los primeros lugares del mundo en cuanto a biodiversidad (Halffter, 2017; Sarukhán *et al.*, 2008).

La estimación de la biodiversidad de México es una tarea muy compleja, hoy en día es considerable el rezago en la documentación de su riqueza (Villaseñor y Téllez, 2004). No obstante, estimar la distribución de las especies mediante el modelado del nicho ecológico se ha convertido en una herramienta muy utilizada en la investigación para la conservación biológica (Soberón y Peterson, 2005).

Los modelos ayudan a determinar dónde se encuentran las condiciones ambientales más adecuadas para que la especie prospere, en función de parámetros obtenidos de recolectas previas (Villaseñor y Téllez, 2004). Cada especie tiene su nicho ecológico, es decir, el es-

## ABSTRACT

*Modeling the potential distribution of a species allows the identification of its possible natural range. The objective of the present work was to know the potential distribution of *Pinus pinceana* in the northeast of Mexico through a spatial modeling strategy. Data on the occurrence of the species and 19 bioclimatic variables were considered. The model was generated by applying the maximum entropy algorithm using the MaxEnt program version 3.3.3k. The state with the largest area with high fitness conditions was Coahuila (8,523 km<sup>2</sup>), while the largest area with medium fitness conditions was recorded in Nuevo Leon (9,663 km<sup>2</sup>).*

**Keywords:** *ecological niche, occurrence data, bioclimatic variables, maximum entropy algorithm.*

pacio en el cual se considera que una especie vegetal sobrevive bajo condiciones naturales (Fischer *et al.*, 2001).

En los últimos años se han desarrollado varios programas para realizar modelos ecológicos de nicho, por ejemplo, Bioclim (Nix, 1986), GARP (Stockwell y Peters, 1999) y Maxent (Phillips, Dudik y Schapire, 2004). Estos modelos están basados en el concepto de nicho ecológico de Hutchinson (1957) relacionando la información biológica (puntual) con información ambiental (geográfica) y posteriormente identificando zonas donde no existan registros previos de la especie, corrigiendo la estimación y obteniendo de esta forma el área de distribución potencial de las especies (Peterson, Ball y Cohoon, 2002).

Diversos grupos vegetales se han estudiado desde una perspectiva taxonómica o biogeográfica, la mayoría contando únicamente con nombres científicos o con datos sobre su variación morfológica, poca atención se

\*Universidad Autónoma de Nuevo León.  
contacto: eduardo.trevinogr@uanl.edu.mx

ha puesto a la distribución geográfica de las especies mexicanas. Se han discutido aspectos generales, como la distribución de un conjunto de *taxa* a nivel de tipos de vegetación o de sus afinidades, pero poco o nada se ha hecho para documentar el área total que una especie ocupa (Villaseñor y Téllez, 2004).

Existen algunos trabajos en los que se han producido mapas de distribución, obtenidos a partir de un conjunto de puntos que representan las localidades donde los especímenes han sido colectados o registrados (Skov, 2000). Otros procedimientos utilizados para delimitar la distribución geográfica de *taxa* mexicanos y que se han utilizado para diferentes estudios biogeográficos han sido los límites políticos (estados o municipios) (Villarreal, Valdés y Villaseñor, 1996; Dávila, Lira y Valdés, 2004) y celdas o cuadrículas de tamaño definido (grados o minutos de latitud y longitud, o hectáreas o kilómetros) (Contreras, 2004). Sin embargo, aún es necesario obtener información sobre la distribución de ciertas especies consideradas como raras o amenazadas a partir de métodos formales y rigurosos (Engler, Guisan y Rechsteiner, 2004).

*Pinus pinceana* Gordon es conocida como “pino piñón” o “pino rosa” en México, y como “Weeping Pinyon Pine” en América del Norte. Ésta es una planta endémica de México, se desarrolla en las montañas semiáridas, frecuentemente en pendientes calcáreas y barrancas, por encima de la vegetación del desierto y abajo, o apenas dentro del “Cinturón de Pinos Piñoneros” con *P. cembroides* en un rango altitudinal que va de los 1,400 a 2,300 msnm (Farjon, Pérez y Styles, 1997). Es una especie considerada como amenazada según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) bajo la categoría de especie con bajo riesgo de extinción o próxima a ser considerada como amenazada (LR/NT) (Farjon y Page, 1999). Es enlistada, además, en la categoría de peligro de extinción (P) por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (Semarnat, 2010).

Recientes estudios demuestran que, para México, *Pinus pinceana* ocupa una superficie de 159,107.5 km<sup>2</sup>, de la cual, 7.8% del área se encuentra bajo un estatus de protección (Aguirre y Duivenvoorden, 2010). Sin embargo, debido a la sensibilidad climática mostrada por algunas poblaciones de la especie en la región noreste de México (Santillán *et al.*, 2010). Éstas podrían disminuir su nicho ecológico y ponerse en riesgo de desaparecer debido a un incremento en la temperatura y al grado de sequía asociada al cambio climático (Martíñón *et al.*, 2011; Martínez *et al.*, 2015).

El presente trabajo tiene como objetivo conocer la distribución potencial de *Pinus pinceana* en el noreste de México mediante una estrategia de modelamiento espacial.

Este análisis se llevó a cabo usando los principios de la teoría de la máxima entropía (algoritmo configurado en el software MaxEnt) y la representación geoespacial de las condiciones ambientales (algoritmo configurado en el software DIVA-GIS®), lo que permitirá generar recomendaciones de aquellas áreas que deben ser prioritarias para la distribución potencial de esta especie. El producto obtenido de este proyecto podrá ser utilizado con la finalidad de apoyar y aportar estrategias de planeación en la conservación forestal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El noreste de México, integrado por los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, cubre una superficie de 291,955 km<sup>2</sup>, lo cual representa 15% de la superficie total del país. Esta zona queda incluida dentro de dos grandes regiones naturales denominadas Desierto Chihuahuense y Tamaulipense (Rzedowski, 1994).

Se obtuvieron registros de ocurrencia de *Pinus pinceana* en México del portal Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2016), el cual incluye información de diferentes herbarios alrededor del mundo, la información fue complementada con registros de ocurrencia reportados en otros trabajos de investigación (Santillán *et al.*, 2010; Martíñón *et al.*, 2011; Martíñón *et al.*, 2010; Ledig *et al.*, 2001; Favela, Velazco y Alanís, 2009). Los datos fueron sometidos a dos fases de control de calidad; en la primera se eliminaron los datos duplicados y mal georreferenciados, así como aquellos que se encontraban fuera de su distribución geográfica natural, como costas, desiertos, zonas urbanas y áreas agrícolas.

En la segunda fase se empleó la identificación y depuración de puntos atípicos tomando en cuenta los límites de los rangos ambientales normales para la especie, considerando 19 variables bioclimáticas en formato raster con una resolución de 2.5 minutos de arco (5 km) basadas en la precipitación y la temperatura (tabla I), este proceso se realizó empleando el software libre DIVA-GIS ver. 7.5.0, aplicando el método Reverse jackknife recomendado para conjuntos de datos con una distribución normal de valores. La cantidad mínima de variables a considerar para realizar la depuración de los datos atípicos fue de tres (Chapman, 2005; Scheldeman y van Zonneveld, 2011). Las 19 variables bioclimáticas fueron obtenidas de Worldclim (Hijmans *et al.*, 2005).

Tabla I. Variables bioclimáticas consideradas.

Clave	Variable
BIO1	Temperatura promedio anual
BIO2	Rango medio diario (temp. max. – temp. min.; promedio mensual)
BIO3	Isotermalidad (BIO1/BIO7) * 100
BIO4	Estacionalidad en temperatura (coeficiente de variación)
BIO5	Temperatura máxima del periodo más caliente
BIO6	Temperatura mínima del periodo más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso
BIO9	Temperatura promedio en el trimestre más seco
BIO10	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso
BIO11	Temperatura promedio en el trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación en el periodo más lluvioso
BIO14	Precipitación en el periodo más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación en el trimestre más lluvioso
BIO17	Precipitación en el trimestre más seco
BIO18	Precipitación en el trimestre más caluroso
BIO19	Precipitación en el trimestre más frío

El modelado de nicho ecológico se realizó empleando el algoritmo de máxima entropía del programa MaxEnt ver. 3.3.3k, este software emplea dos entradas de datos; una corresponde a los datos de ocurrencia de la especie en cuestión y la otra a los archivos en formato raster de las variables bioclimáticas presentes en una región determinada. El algoritmo se basa en realizar un número de interacciones que permiten alcanzar un nivel óptimo de convergencias entre los datos de ocurrencia y las variables bioclimáticas, esto hace que sea muy adecuado para modelar la distribución potencial de las especies, al final se produce un archivo en formato raster que contiene los valores de idoneidad, los cuales, según Elith *et al.* (2010), van desde cero (no apto) hasta uno (perfectamente apto). La selección de este programa se debe a que ha mostrado buenos resultados en diferentes estudios realizados para identificar la distribución potencial tanto de especies de flora como de fauna (Lizcano, Prieto y Ortega, 2016; Garfias *et al.*, 2013). Para reducir los sesgos del muestreo y evitar problemas en la modelación, se realizó una depuración de los da-

tos, eliminando los puntos de ocurrencia duplicados en una celda raster de 2.5 minutos de arco (5 km).

Se validó la capacidad de estimación del modelo generado, para esto se replicó dicho modelo 15 veces, considerando 25% de los datos de ocurrencia y empleando la técnica de submuestreo, la cual se incluye dentro de las herramientas del programa MaxEnt. Esta validación consiste en ejecutar el modelo varias veces (15 para este caso) y luego convenientemente se promedian los resultados de todos los modelos generados. Como resultado de esta validación se obtienen dos gráficos: el primero corresponde a un análisis de omisión/comisión en el cual se muestra la tasa de omisión y la zona prevista en diferentes umbrales por el modelo. El segundo gráfico ilustra el valor promedio del área por debajo de la curva (AUC, por sus siglas en inglés) del análisis de la característica de funcionamiento del receptor (ROC, por sus siglas en inglés). El AUC se interpreta como la mayor probabilidad de que un registro de ocurrencia seleccionado de forma aleatoria esté situado dentro de un pixel del raster con un valor elevado de probabilidad para la presencia de la especie que un punto generado de forma aleatoria (Phillips, Anderson y Schapire, 2006; Phillips, 2010; Young, Carter y Evangelista, 2011). De acuerdo con Araújo *et al.* (2005), se recomiendan cinco rangos para interpretar el AUC de los modelos generados: Excelente si el  $AUC > 0.90$ ; Buena si  $0.80 > AUC < 0.90$ ; Aceptable si  $0.70 > AUC < 0.80$ ; Mala si  $0.60 > AUC < 0.70$ ; No válida si  $0.50 > AUC < 0.60$ .

Además, se realizó una prueba “Jackknife” para determinar las variables de mayor importancia en el modelado de la especie en cuestión, la cual también se efectuó dentro del programa MaxEnt (Phillips, 2010).

Para determinar la superficie y los porcentajes correspondientes de las zonas aptas para el establecimiento de la especie de interés, el modelo producido en formato ráster fue convertido a formato vectorial (polígonos) utilizando el programa Qgis ver. 2.14.2-Essen. Los polígonos generados fueron clasificados en función de los valores de idoneidad contenidos en el archivo ráster, cuyos valores de pixel van desde 0 (aptitud baja) hasta 1 (aptitud alta) (Elith, Kearney y Phillips, 2010), además, se sometieron a un proceso de simplificado y suavizado empleando el mismo software para eliminar detalles innecesarios generados al momento de la transformación. El resultado final fue la generación de un mapa con tres clasificaciones de aptitud (alta, media y baja) para la distribución potencial de *Pinus pinceana* en el noreste de México.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la modelación de la distribución potencial de *Pinus pinceana* para el noreste de México se obtuvo que 10,268 km<sup>2</sup> presentan condiciones de aptitud alta, 19,912 km<sup>2</sup> presentan una condición de aptitud media y 19,399 km<sup>2</sup> corresponden a una aptitud baja; las zonas con condiciones de aptitud alta se sitúan principalmente en el sureste del estado de Coahuila de Zaragoza y en el poniente del estado de Nuevo León, mientras que las zonas con condiciones de aptitud media se sitúan mayormente en el sur del estado de Nuevo León y en el suroeste del estado de Tamaulipas (figura 1).

Del total de la superficie con condiciones de aptitud alta, 83 % (8,523 km<sup>2</sup>) se sitúa en el estado de Coahuila de Zaragoza, principalmente en los municipios de Saltillo, Parras de la Fuente y Arteaga, el restante 17% (1,745 km<sup>2</sup>) se distribuye en el estado de Nuevo León, mayormente en los municipios de Santa Catarina y Galeana. Referente a las condiciones de aptitud media, del total de la superficie para esta categoría, 48% (9,663 km<sup>2</sup>) se sitúa en el estado de Nuevo León, principalmente dentro de los municipios de Santa Catarina, Galeana, Santiago y Rayones; 37% (7,339 km<sup>2</sup>) se distribuye en el estado de Coahuila, en los municipios de Arteaga y Saltillo, y el restante 15% (2,910 km<sup>2</sup>) se encuentra en el estado de Tamaulipas, en los municipios de Bustamante, Tula y Jaumave (figura 2).

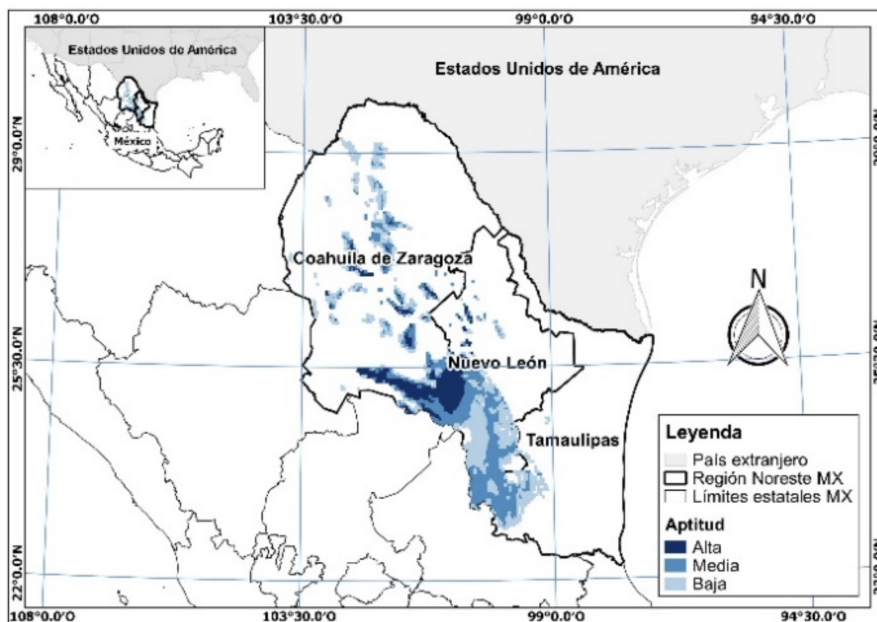


Figura 1. Mapa de distribución potencial para la especie *Pinus pinceana* en el noreste de México.

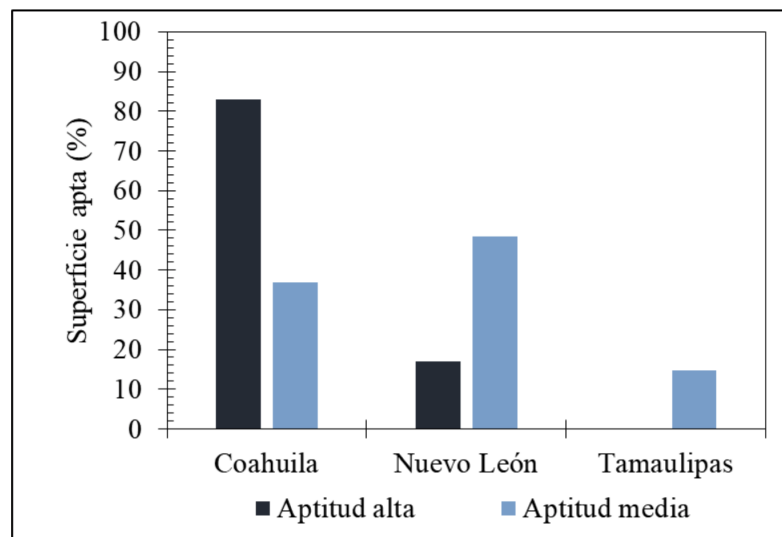


Figura 2. Superficies en porcentaje del área con condiciones de aptitud alta y media para el establecimiento de *Pinus pinceana* en el noreste de México.

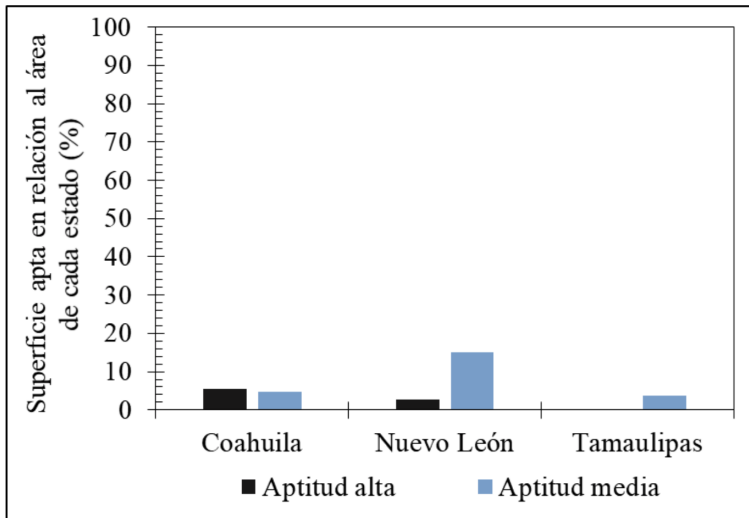


Figura 3. Superficies aptas para el establecimiento de *Pinus pinceana* en relación al área total de cada estado.

Refiriéndonos específicamente para cada estado, para el estado de Coahuila, del total de su territorio (151,571 km<sup>2</sup>) sólo 10.5% presenta condiciones de aptitud alta y media para el establecimiento de esta especie (5.6% y 4.8%, respectivamente). Asimismo, para Nuevo León, del total de su superficie (64,555 km<sup>2</sup>), sólo 17.8% presenta condiciones de aptitud alta y media (2.7% y 15.1%, respectivamente). Para Tamaulipas, del total de su territorio (79,829 km<sup>2</sup>), sólo se registra 3.7% con condiciones de aptitud media (figura 3).

La distribución de *Pinus pinceana* se reporta principalmente para los estados de Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo (Perry, 1991; Villarreal, 2001). También se reporta la ocurrencia de la especie en el estado de Nuevo León, en el municipio de Santa Catarina. Con anterioridad ya se había sugerido la presencia de esta especie en el estado, así como su

presencia en la Sierra de Zapalinamé y la Sierra San José de los Nuncios, en Coahuila, lo que hace más factible la ocurrencia de otras poblaciones en el complejo orográfico de la Sierra Madre Oriental entre los límites de Nuevo León y Coahuila (Favela, Velazco y Alanís, 2009; Martínez, 1948), esta información coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde se encontraron áreas con condiciones de aptitud alta y media para la especie en Nuevo León, principalmente en los municipios de Santa Catarina, Galeana, Santiago y Rayones, los cuales colindan con el estado de Coahuila (figura 4).

Asimismo, recientemente se ha reportado la presencia de *Pinus pinceana* en el estado de Tamaulipas, específicamente en el municipio de Jaumave, estas poblaciones simbolizan la distribución más extrema en

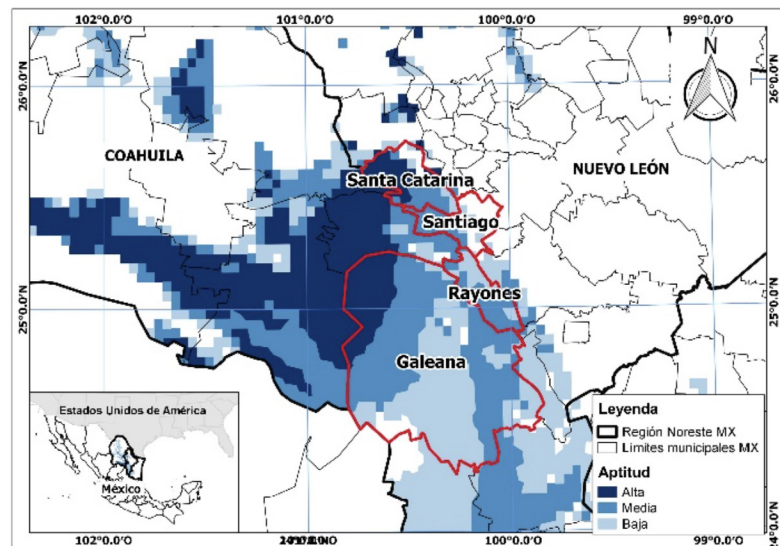


Figura 4. Distribución potencial de *Pinus pinceana* en Coahuila y Nuevo León.

la región noreste de México, y se encuentran en sitios con alturas relativamente más bajas sobre el nivel del mar, comparadas con el resto de las poblaciones presentes en otras zonas del país (Rzedowski, 1994), esto concuerda con la distribución potencial estimada por el modelo para Tamaulipas, donde a pesar de que los registros reportados para este estado no fueron considerados para realizar la modelación, se pudieron estimar condiciones de aptitud media para el establecimiento de la especie en el suroeste del estado, donde se incluye el municipio de Jaumave.

En la evaluación de la capacidad de estimación del modelo, se obtuvo que el valor de AUC en promedio fue de 0.986, con una desviación estándar de 0.003, de acuerdo con las clasificaciones propuestas por Araújo *et al.* (2005), el valor obtenido indica que el modelo generado presenta una excelente estimación de la distribución potencial para *Pinus pinceana*. Además, la prueba “Jackknife” indicó que las variables de mayor importancia en la generación del modelo fueron: BIO14 y BIO17 que corresponden a las precipitaciones en el periodo y trimestre más secos.

## CONCLUSIÓN

El presente estudio es el primero en determinar la distribución potencial de la especie *Pinus pinceana* en el noreste de México. El modelo generado presentó un alto desempeño para estimar la distribución de la especie de acuerdo con el valor obtenido de AUC. Esto se corroboró con el hecho de que las zonas aptas estimadas por el modelo coinciden con las condiciones de hábitat reportadas para la especie, las cuales generalmente se presentan en las laderas de montañas semiáridas como las zonas situadas al poniente de la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental. La distribución potencial de *Pinus pinceana* se centra principalmente en el estado de Coahuila, ya que presenta condiciones de aptitud alta para su desarrollo, seguido por Nuevo León, que presenta mayormente áreas con condiciones de aptitud media y finalmente muy poca área con condiciones de aptitud media se distribuye en el estado de Tamaulipas.

## REFERENCIAS

Aguirre, G.J., y Duivenvoorden, J.F. (2010). Can we expect to protect threatened species in protected areas? A case study of the genus *Pinus* in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81: 875-882.

Araújo, M.B., Pearson, R.G., Thuiller, W. *et al.* (2005). Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*. 11: 1504-1513.

Chapman, A.D. (2005). *Principles and Methods of Data Cleaning-Primary Species and Species-Occurrence Data, version 1.0*. Report for the Global Biodiversity Information Facility, Copenhagen.

Contreras, M.R. (2004). Gimnospermas. En: Luna I, Morrone, J.J., y Espinosa, D. (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental: un enfoque multidisciplinario: 137-148*. CONABIO-UNAM, Ciudad de México.

Dávila, A.P., Lira, R., y Valdés, R.J. (2004). Endemic species of grasses in Mexico: A phytogeographic approach. *Biodiversity and Conservation*. 13: 1101-1121.

Elith, J., Kearney, M., y Phillips, S.J. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution*. 1: 330-342.

Engler, R., Guisan, A., y Rechsteiner, L. (2004). An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*. 41: 263-274.

Farjon, A., Pérez R., J.A., y Styles, B.T. (1997). *A Field Guide to the Pines of Mexico and Central America*. The Royal Botanic Gardens, Kew.

Farjon, A., y Page, C.N. (1999). *Conifers: status survey and conservation action plan*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Species Survival Commission, Conifer Specialist Group, Gland.

Favela, L.S., Velazco, M.C.G., y Alanís, F.G.J. (2009). *Pinus pinceana* (Pinaceae), nuevo registro para el estado de Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. 771-774.

Fischer, J., Lindenmayer, D. B., Nix H. A., *et al.* (2001). Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography*. 28: 293-304.

Garfias, S.R., Castillo, S.M., Toral, I.M., *et al.* (2013). Determinación de la distribución actual y potencial de bosque nativo mediante análisis espacial en SIG. Estudio de caso: tipo forestal Roble-Roulí-Coigüe en Chile. *Interciencia*. 38: 577.

GBIF (Global Biodiversity Information Facility). (2016). *GBIF Backbone Taxonomy*. doi:10.15468/39omei. Accessed via <http://www.gbif.org/species/5285549> on 2016-05-10

Halffter, G. (2017). La zona de transición mexicana y la megadiversidad de México: del marco histórico a la riqueza actual. *Dugesiana*. 24(2): 77-89.

Hutchinson, G.E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*. 22: 415-457.

- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., *et al.* (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25: 1965-1978.
- Ledig, F.T., Capó, A.M.A., Hodgskiss, P.D., *et al.* (2001). Genetic diversity and the mating system of a rare Mexican piñon, *Pinus pinceana*, and a comparison with *Pinus maximartinezii* (Pinaceae). *American Journal of Botany*. 88(11), 1977-1987.
- Lizcano, D.J., Prieto, T.D.A., y Ortega, A.H.M. (2016). Distribución de la danta de montaña (*Tapirus pinchaque*) en Colombia: importancia de las áreas no protegidas para la conservación en escenarios de cambio climático. En Payan, E., Lasso, C. A., y Castaño, C. (Eds.), *I. Conservación de grandes vertebrados en áreas no protegidas de Colombia, Venezuela y Brasil* (pp. 115-128). Bogotá Colombia.
- Martínez, Á.J., Sánchez, C.C., Martínez, G.R., *et al.* (2015). Primer registro de *Pinus piceana* (Pinaceae) para Tamaulipas: aspectos ecológicos y estructurales. *Botanical Sciences*. 93(2): 357-360.
- Martínez, M. (1948). *Los pinos mexicanos*. Universidad Autónoma de México. México.
- Martiñón, M.R.J., Vargas, H.J., López, U.J., *et al.* (2010). Respuesta de *Pinus pinceana* Gordon a estrés por sequía y altas temperaturas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33(3), 239-248.
- Martiñón, M.R.J., Vargas, H.J.J., Gómez, G.A., *et al.* (2011). Composición isotópica de carbono en follaje de *Pinus pinceana* Gordon sometido a estrés hídrico y térmico. *Agrociencia*. 45: 245-258.
- Nix, H.A. (1986). A biogeographic analysis of the Australian elapid snakes. In: R. Longmore (ed.) *Atlas of elapid snakes. Australian Flora and Fauna Series No. 7*. pp. 4-15.
- Peterson, A.T., Ball, L.G., y Cohoon, K.P. (2002). Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modeling methods. *Ibis*. 144: 27-32.
- Phillips, S.J., Dudík, M., y Schapire, R.E. (2004). *A maximum entropy approach to species distribution modeling*. En: Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning, Banff, Canadá. Disponible en [http://delivery.acm.org/10.1145/1020000/1015412/p272-phillips.pdf?ip=148.234.24.178&id=1015412&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=6F4CCF05E2930152%2E94A0735B-799D614C%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B-0C3E38B35&\\_\\_acm\\_\\_=1524838895\\_cc3f0a0d6c56ea59b-ff8361ed2acfbdd](http://delivery.acm.org/10.1145/1020000/1015412/p272-phillips.pdf?ip=148.234.24.178&id=1015412&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=6F4CCF05E2930152%2E94A0735B-799D614C%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B-0C3E38B35&__acm__=1524838895_cc3f0a0d6c56ea59b-ff8361ed2acfbdd)
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., y Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190: 231-259
- Phillips, S.J. (2010). *A brief tutorial on Maxent*. Exercise, American Museum of Natural History, New York
- Perry, J.P. (1991). *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press, Portland, Oregon.
- Rzedowski, J. (1994). *Vegetación de México*. Editorial Limusa, S. A. de C. V. México.
- Santillán, H.M., Cornejo, O.E.H., Villanueva, D.J., *et al.* (2010). Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques*. 16: 17-30.
- Sarukhán, J., Soberón, J., Halffter, G. *et al.* (2008). *Capital natural de México*, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México.
- Scheldeman, X., y van Zonneveld, M. (2011). *Manual de capacitación en análisis espacial de diversidad y distribución de plantas*. Bioversity International, Roma. Disponible en: <http://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/detail/manual-de-capacitacion-en-analisis-espacial-de-diversidad-ydistribucion-de-plantas/>
- Semarnat. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010*, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- Skov, F. (2000). Potential plant distribution mapping based on climatic similarity. *Taxon*. 49: 503-515.
- Soberón, J., y Peterson, A. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2: 1-10.
- Stockwell, D.R.B., y Peters, D. (1999). The GARP modeling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Science*. 13: 143-158.
- Villarreal, J.A. (2001). *Flora de Coahuila. Listados florísticos de México*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Villarreal, J.A., Valdés J., y Villaseñor, J.L. (1996). Corología de las asteráceas de Coahuila, México. *Acta Botánica Mexicana*. 36: 29-42.
- Villaseñor, J.L., y Téllez, V.O. (2004). Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología*, UNAM, Serie Botánica. 75(2): 205-220.
- Young, N., Carter, L., y Evangelista, P. (2011). *A MaxEnt model v3. 3.3 e tutorial* (ArcGIS v10). Fort Collins, Colorado.

Recibido: 05/07/2016

Aceptado: 28/11/2017