

Editada por el Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET Pinar del Río
Vol. 18, No.1 enero-marzo, 2016

ARTÍCULO ORIGINAL

Modelación de la distribución potencial de *Pinus tropicalis* en el occidente de Cuba

Distribution modeling of Pinus tropicalis in western Cuba

Carlos Alberto Miranda Sierra¹, Gretel Geada López², Rogelio Sotolongo Sospedra³

¹Máster en Ciencias Meteorológicas, profesor Asistente del Centro Meteorológico Provincial, Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: calberto@pri.insmet.cu

²Doctora en Ciencias Biológicas, profesora Titular de la Universidad Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: gabriel@gmail.com

³Doctor en Ciencias Forestales, profesor Titular de la Universidad Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: soto@aaf.upr.edu.cu

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la distribución potencial de los pinares naturales de *Pinus tropicalis* sobre la base de las condiciones climáticas actuales. Se georeferenciaron 1346 rodales naturales junto con 19 variables bioclimáticas para la modelación con el MaxEnt (Máxima Entropía) generando el mapa de probabilidades de mejores hábitats. Las variables que contribuyeron más al modelo fueron el cambio estacional de las precipitaciones con lluvias entre 243- 792.0mm y un régimen anual en la temperatura mínima en el período más frío, 18.3°C-23.1°C. Las áreas con altas probabilidades que representaron los mejores hábitats son: Alturas de Pizarras en los municipios Mantua, Guane, Minas de Matahambres, San Juan y Martínez y Viñales.

Palabras clave: Distribución potencial, Máxima entropía, *Pinus tropicalis*, Pinares.

ABSTRACT

The aim of the study was to determine the potential distribution of natural pine forest of *Pinus tropicalis* according to the current climatic conditions. We georeferenced 1346 natural stand along with 19 bioclimatic variable to modeling under MaxEnt (Maximum Entropy) generating a probabilities map of suitable habitats. The better contributors' variables were the changes in the seasonal precipitation from 243-792mm and the annual regimen of minimum temperature of the coolest period 18.3°C-23.1°C. The areas with the higher probabilities that represented the suitable habitats were: Alturas de Pizarras in Mantua municipality, Guane, Minas de Matahambres, San Juan y Martínez y Viñales.

Key words: Potencial distribution, Maximum entropy, *Pinus tropicalis*, Pine forest.

INTRODUCCIÓN

El *Pinus tropicalis*, presente en la formación monotípica de pinares, ocupa aproximadamente una superficie de 315.38 km² en Pinar del Río. Esta especie es endémica de Cuba occidental, presente en los suelos más pobres y secos de la provincia de Pinar del Río y la Isla de la Juventud. Constituye un importante recurso genético y tiene una gran importancia económica, de ellos se extrae madera para múltiples usos (construcción, pulpa, envases y otros) y ocupan por lo general suelos poco convenientes para la agricultura intensiva. Pueden ser empleados además para la repoblación de suelos arenosos muy pobres en nutrientes (Samek, 1989).

Pinus tropicalis ha sido una especie sobreexplotada en los últimos 100 años y sus áreas naturales se han reducido fundamentalmente por los cambios en el uso de la tierra, el desarrollo ganadero, la agricultura (tabaco, cultivos varios) y la industria azucarera (Figueroa, 2001).

Trabajos para modelar el área de la distribución potencial han sido escasos, y en el caso de las coníferas la mayor parte de los esfuerzos por estudiar o realizar la modelación de su distribución potencial se han realizado con mayor frecuencia México (Martínez, 1948, Dvorak *et al.*, 2000, Herrera *et al.*, 2005, Sánchez, 2008, García *et al.*, 2012, Ávila *et al.*, 2014). En la actualidad todavía no existe una amplia gama de estudios relacionados con la distribución de pinares, y aquellos que han incorporado los modelos de distribución, se han enfocado preferentemente en relacionar las condiciones de hábitat y distribución de reptiles, gimnospermas, especies agrícolas como el maíz, algodón, aguacates, félicos y en menor proporción para taxa vegetales como los pinos. Inicialmente se comenzó por modelos sencillos que han ido evolucionando hasta convertirse en modelos de inteligencia artificial, los cuales aprenden a partir de análisis comparativos entre las variables ambientales y los lugares de presencia o ausencia de las especies estudiadas.

Para estimar los patrones de distribución potencial de una especie se puede hacer a partir del uso de modelos de aprendizaje artificial como el MaxEnt (Máxima Entropía), modelos empíricos predictivos como el BIOCLIM (Envoltentes Bioclimáticas), modelos estadísticos

como MLJ (Modelo Lineal Generalizado), MAG (Modelo Aditivo Generalizado), Domain (Domain Model) y GARP (*Genetic Algorithm for Rule Prediction*). Muchos autores prefieren el MaxEnt debido a su sencillez, y es uno de los que mejor se ajusta a la distribución de especies cuando se utiliza solo datos de presencia y las salidas pueden ser analizadas de manera estadística y gráfica.

En la provincia de Pinar del Río la disponibilidad de datos de las estaciones climáticas, permite disponer de una base de datos bastante fidedigna sobre la distribución de las principales variables meteorológicas que influyen en el desarrollo de los pinos.

El clima en las áreas de pinares es propio de las zonas montañosas, a pesar de que las alturas mayores no superan los 550 metros (Sierra de Cajálbana), las características del terreno ejercen una fuerte influencia en las variables del clima, sobre todo en el régimen de temperatura, humedad relativa, dirección y fuerza del viento, radiación solar y en las precipitaciones.

Por todo lo anterior se trazó como objetivo de este trabajo determinar la distribución potencial de los pinares naturales de *Pinus tropicalis* sobre la base de las condiciones climáticas actuales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio con la información de los pinares naturales *Pinus tropicalis* ubicados en la región que ocupa la Sierra de los Órganos, la llanura arenosa suroccidental de la provincia y un área pequeña localizada en Los Pretiles, área protegida perteneciente a la Empresa Nacional de la Flora y la Fauna, para un área total de 315.38 km².

Para el estudio se tomó la georeferenciación de un total de 1346 rodales de pinares de *P. tropicalis* existentes en la base de datos (SIFOMAP) de las Empresas Forestales Integrales y del Sistema de Áreas Protegidas de la provincia de Pinar del Río.

Los datos climáticos se obtuvieron de siete estaciones meteorológicas perteneciente al Instituto de Meteorología para un período de 30 años, cinco estaciones climáticas ubicadas en las zonas montañosas pertenecientes al Instituto de Recursos Hidráulicos y al Ministerio de la Agricultura y 64 pluviómetros distribuidos por toda la provincia.

Las variables climáticas utilizadas corresponden a la temperatura media, máxima media, mínima media mensual y precipitación mensual y anual. A Partir de estos datos se conformaron 19 mapas RASTER con la combinación de estas variables. Las capas de variables climáticas utilizadas fueron: temperatura promedio anual, rango medio diurno de temperatura, isothermalidad, estacionalidad en la temperatura, temperatura máxima en el período cálido, temperatura mínima del período frío, rango anual de temperatura, temperatura media del trimestre más lluvioso, temperatura media del trimestre más seco, temperatura media del trimestre más cálido, temperatura media del trimestre más frío, precipitación anual, precipitación en el período más lluvioso, precipitación del período más

seco, estacionalidad de la precipitación, precipitación en el trimestre más lluvioso, precipitación del trimestre más seco, precipitación del trimestre más cálido y precipitación del trimestre más frío.

Con dicha información se modeló con el programa MaxEnt 3.3.3 para determinar la distribución potencial de *Pinus tropicalis* en Pinar del Río a partir de su relación con las variables climáticas que identifican el comportamiento mensual de la temperatura y las precipitaciones. La configuración del modelo se realizó con la función logística, por ser la más sencilla de conceptualizar, ya que proporciona un estimado entre cero y uno de probabilidad de presencia (Phillips *et al.*, s.f.).

En la calibración del modelo se especifican 1000 interacciones y el límite de convergencia se fija en 0.00001 (valor por defecto), lo que garantiza la convergencia del algoritmo. La identificación de las variables climáticas que más contribuyeron al modelo se realizó con la prueba de *jackknife* para el remuestreo. La calidad de la predicción del área potencial de distribución de la especie se determinó con la técnica de evaluación Receiver Operating Characteristic (ROC), utilizando un 25% de los registros de remuestreo.

Los mapas generados por el Maxent fueron visualizados con el DIVA-GIS 7.5.0, Sistema de Información Geográfico especialmente diseñado para hacer análisis espaciales de diversidad biológica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la *tabla* se muestra el comportamiento de las 19 variables climáticas de las áreas que ocupan los bosques naturales de *Pinus tropicalis* en las áreas de estudio. Como se puede observar, los rangos climáticos de distribución de la especie no son tan amplios a causa de la similitud en la distribución geográfica que estos ocupan, perteneciente a zonas de montaña y premontaña de baja altura que no superan los 550 metros de altura. Las mayores variaciones se observan en los valores de precipitación en el período poco lluvioso con rango anual entre los 1300 y 1900 milímetros anuales, valores que coinciden con los reportados por Trusov, 1970 y Figueroa, 2002. Los valores de temperatura preferidos por la especie oscilan entre 20.6°C y 25.6°C a pesar de la presencia en valles intramontanos y en zonas con fuertes depresiones donde estos rangos climáticos llegan a ser más extremos. El análisis del coeficiente de estacionalidad muestra que para las precipitaciones existe una tendencia a la estacionalidad que coincide con un período lluvioso (mayo a octubre) y poco lluvioso el resto del año. En cuanto al régimen térmico, el coeficiente de estacionalidad es más variable, con una distribución normal (no estacionalidad) en las zonas llanas de las costas norte y sur, propias de la región tropical y una marcada estacionalidad hacia algunos meses en las zonas de montaña, donde predominan los valles intramontanos, depresiones y proximidades a las zonas de la Sierra de Los Órganos.

Tabla. Comportamiento de las variables climáticas que caracterizan el área de distribución de los bosques naturales de *Pinus tropicalis*. Norma 1980-2010.

Variable climática	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar
Temperatura media anual (°C)	25.6	20.6	1.4
Rango medio diurno promedio mensual (°C)	11.1	8.3	0.7
Isotermalidad	469.4	226.0	77.3
Estacionalidad en la temperatura (Coef. de variación)	0.7	0.1	0.2
Temperatura máxima período cálido (°C)	30.4	25.1	1.4
Temperatura mínima período frío (°C)	23.1	19.7	1.0
Rango anual temperatura (°C)	9.8	5.3	1.7
Temperatura media trimestre más lluvioso (°C)	26.8	23.8	1.0
Temperatura media trimestre más seco (°C)	23.5	20.9	0.9
Temperatura media trimestre más caluroso (°C)	26.5	23.9	1.0
Temperatura media trimestre más frío (°C)	23.5	20.9	0.9
Precipitación anual (mm)	1946.0	1362.0	210.2
Precipitación período más lluvioso (mm)	1252.9	800.5	139.1
Precipitación período más seco (mm)	792.6	243.0	158.6
Estacionalidad de la precipitación (Coef. de variación)	0.5	0.3	0.0
Precipitación trimestre más lluvioso (mm)	688.0	194.9	122.9
Precipitación trimestre más seco (mm)	218.7	80.8	48.4
Precipitación trimestre más cálido (mm)	682.0	177.6	245.8
Precipitación trimestre más frío (mm)	215.7	44.5	62.8

El uso de la técnica *Receiver Operating Characteristic (ROC)*, como método para medir la exactitud del modelo de distribución predictiva del MaxEnt, nos da una idea del desempeño de este con el cálculo del área bajo la curva (AUC). A partir del comportamiento de la curva de datos de entrenamiento y los datos de muestra, explicarán cuan mejor será el modelo para predecir las presencias contenidas en la muestra de prueba de los datos. Según Araujo *et al.* (2005) recomiendan que es excelente si el $AUC > 0.90$. En este caso, la prueba del AUC (área bajo la curva) para los datos de entrenamiento es de 0.917 (datos empleados en la generación del modelo) y esto significa que existe un excelente ajuste, por lo que el uso del MaxEnt es adecuado para este caso.

A partir de la prueba de *Jackknife* (pliegue) se predice cuáles son las variables ambientales que contribuyen en mayor medida al modelo. De acuerdo con estos resultados, las variables más importante en la distribución espacial de la especie como variables independiente son, la temperatura mínima en el período mas frío (entre diciembre y marzo) (bio06), valores que oscilan entre 18.3 °C y 23.1 °C, y la precipitación en el período más seco (bio14) (entre noviembre y abril), entre 243.0 mm y 792.0 mm, ambas variables corresponden al período poco lluvioso (*figura 1*). La combinación de todas las variables pues permite obtener una buena ganancia, pues la exclusión de alguna de ellas no implica una disminución significativa en la contribución al modelo. De manera general, todo parece indicar una fuerte influencia del régimen de precipitaciones y temperatura en la distribución de *Pinus tropicalis*.

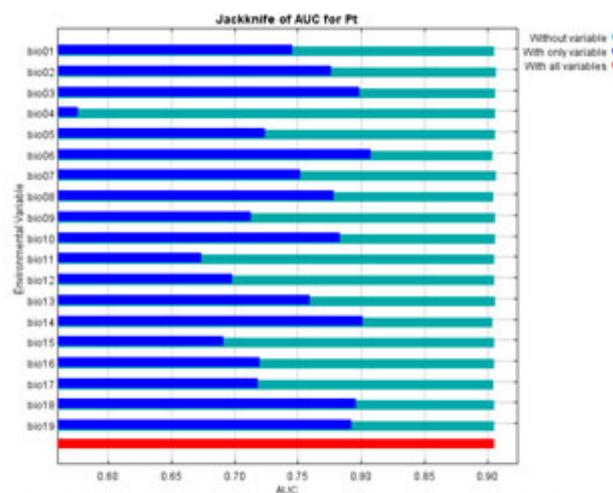


Figura 1. Resultados de la contribución o importancia de las variables climáticas usando la prueba Jackknife en MaxEnt.

Los mapas resultantes de la probabilidad de distribución potencial de los bosques naturales de *Pinus tropicalis* indican que, las mayores probabilidades de presencia con relación a las condiciones climáticas se localizan en áreas muy similares a las actuales. Las zonas de mayor probabilidad de presencia de la especie ocurren en las Alturas de Pizarras en los municipios Mantua, Guane, Minas de Matahambre, San Juan y Martínez y Viñales. No así en la zona de San Ubaldo, Sabana la Mar en la llanura suroccidental, Los Pretiles, Mantua y en la zona montañosa entre Minas de Matahambre y Viñales (costa norte) que poseen condiciones desfavorables (*figura 2*). Respuestas similares hacia la distribución se han observado en otros trabajos para otras especies de coníferas como *Pinus herrerae*, Ávila (2014) y *Taxus glabosa* García-Aranda (2012) para los cuales las variables temperatura mínimas, medias, máximas y precipitación son las variables climáticas más significativas para su distribución. Sin embargo otras variables ambientales se tuvieron en cuenta como tipo de suelo, altura, pendiente y exposición, variables con mayor importancia sobre todo en las zonas montañosas con diferentes pisos climáticos.

El mapa de distribución potencial obtenido podría constituir una herramienta auxiliar para el manejo, conservación y gestión de los bosques naturales de esta especie.

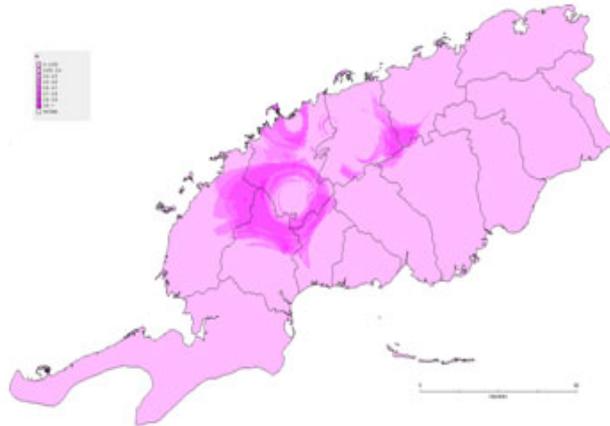


Figura 2. Distribución potencial de bosques naturales de *Pinus tropicalis* en Pinar del Río.

CONCLUSIONES

- El modelo generado para la distribución potencial ha detectado que las variables climáticas más importantes que determinarán la disponibilidad de hábitat de estos pinos son, el cambio estacional de las precipitaciones con lluvias entre 243.0 mm y 792.0 mm y un régimen anual en la temperatura mínima en el período más frío que oscilan entre 18.3 °C y 23.1 °C.
- *Pinus tropicalis* tiene mejores condiciones de hábitat en Alturas de Pizarras en los municipios Mantua, Guane, Minas de Matahambres, San Juan y Martínez y Viñales. En la actualidad están presentes en Sabanalamar, sin embargo, las condiciones climáticas actuales no son favorables para su futuro desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, M. B., Pearson, R.G., Thuiller, W., Erhard, M. (2005). *Validation of species climate impact models under climate change*. *Global Change Biology* 11: 1504-1513.
- Ávila, R., Villavicencio, R, y Ruiz, A. (2014). Distribución potencial de *Pinus herrerae* Martínez en el occidente del estado de Jalisco. *Rev. Mex. Cien. For.* 5(24). 92-108.
- Del Risco, E., Samek, V. (1995). *Los bosques de Cuba. Su importancia histórica y características*. Editorial Ciencia y Técnica. Ciudad de la Habana.
- Dvorak, W. S., Stanger, J.E. and Mapula, M. (2000). *Pinus herrerae*. In: *Conservation and testing of tropical & subtropical forest tree species by the CAMCORE Cooperative*. Raleigh, NC. USA: College of Natural Resources. pp. 75-84.

- Elith, J. CH., Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A., Guisan et al. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129-151.
- Figueroa, C. (2002). *Ecología y conservación de Pinus tropicalis en bosques naturales de las Alturas de Pizarras*. (Tesis doctoral). Dpto. Forestal Universidad Pinar del Río. 124 pp.
- García, M. (2008). *Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal. Comparación y optimización de métodos de modelado ecológico*. (Memoria de Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas. Departamento de Biología Vegetal I. Madrid, España. 188 p.
- García, M., Cantú, C., Estrada, E., Pando, M., Moreno, A. (2012). Distribución actual y potencial de *Taxus glabosa* (TAXACEA) en México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 6(2), 587-598).
- Gómez, J. (1976). *Aspectos Geográficos y de las Formaciones Forestales de Cuba*. La Habana: INDAF. 35 p.
- Herrera, R. C., Vargas, H. y López, U. (2005). Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana* 72:1-16.
- Martínez, M. (1948). *Los pinos mexicanos*. México, D.F. México: Ediciones Bota, S.A. pp. 1-45.
- Phillips, S. J., Dudík, M. y Schapire, R. (s.f.). *Una breve guía didáctica sobre Máxima Entropía*. AT&T. Princeton University y el Centro para la Biodiversidad y Conservación del Museo Americano de Historia Natural. Recuperado de: <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/tutorial/tutorial-in-spanish.doc>
- Phillips, S. J., Dudík, M., Schapire, R. (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. En: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*, Banff, Canadá.
- Phillips, S. J., Dudík, M., Schapire, R. (2006). *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Sáenz Romero, C (2014). *Guía técnica para la planeación de la reforestación adaptada al cambio climático*. CONAFOR. Primera edición. 72pp.
- Samek, V (1967). *Elementos de Silvicultura de los Pinares*. Editorial Universidad de la Habana. 130 pp.
- Samek, V., Del Risco, E. (1989). *Los pinares de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Estudio sinecológico*. La Habana: Editorial. Academia. 60 pp.
- Sánchez, V., Galindo G. y Díaz, F. (2008). *Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y

Uso de la Biodiversidad, Universidad Veracruzana, Mundi Prensa México, S. A. de C. V. México, D. F., México. pp. 211-224.

- Xavier Scheldeman, X., Maarten, V. (2011). *Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas. Biodiversity International.* Rome, Italy. 179 pp.

Recibido: diciembre 2015

Aprobado: febrero 2016

MSc. *Carlos A. Miranda Sierra.* Centro Meteorológico Provincial, Pinar del Río, Cuba.
Correo electrónico: calberto@pri.insmet.cu