

Editada por el Centro de Información y Gestión Tecnológica (CIGET) Pinar del Río
Vol. 19, No. 1 enero-marzo, 2017

ARTÍCULO ORIGINAL

**Modelación de hábitats potenciales de *Pinus caribaea*
Morelet var. *caribaea* Barrett y Golfari en el occidente de
Cuba**

***Modelling potential habitat distributions for *Pinus caribaea*
Morelet var. *caribaea* Barrett y Golfari in western Cuba***

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

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

²Doctor en Ciencias Biológicas, profesora Titular. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: gabriel@upr.edu.cu

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

RESUMEN

La distribución potencial de los pinares de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barrett y Golfari fue modelada a partir de la relación entre la presencia y el

comportamiento del clima en el occidente de Cuba incluyendo la Isla de la Juventud. El algoritmo de máxima entropía (MaxEnt) fue empleado para generar los mapas de probabilidades de mejores hábitats con el Sistema de Información Geográfica DIVA-GIS, sobre la base de la georreferenciación de los rodales naturales y 17 variables bioclimáticas. Las variables que más contribuyeron al modelo fueron el régimen anual de las precipitaciones y la temperatura media en el período más frío. Las áreas que representan los mejores hábitats, se ubican en el noreste: las Alturas de Cajálbana, Galalón y Caiguanabo, Pinar del Río y en el noroeste de la Isla de la Juventud. Estos resultados forman parte del Doctorado en Ciencias Forestales.

Palabras clave: modelación de hábitat, Máxima entropía, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, hábitats potenciales.

ABSTRACT

The potential distribution of pine forest *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barrett y Golfari was modeling from the relation between the presence and current climate in the western Cuba including Isla de la Juventud. The algorithm of Maximum entropy was used to generate the maps with the probabilities suitable habitats maps supported by the DIVA-GIS based on the georeferency of the natural stand and 17 bioclimatic variables. The most important variables were annual regimen and the mean temperature of the coolest period. The areas representing the suitable habitats are located in northeast: las Alturas de Cajálbana, Galalón y Caiguanabo, in Pinar del Rio and northwest of Isla de la Juventud. These results are part of the Doctorate in Forest Sciences.

Key words: modeling habitat, maximum entropy, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, potential habitats

INTRODUCCIÓN

Los bosques naturales de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barrett y Golfari (Pc), presentes en la formación monotípica de pinares, ocupa aproximadamente una

superficie de 8538,2 ha en el occidente de Cuba. Esta especie es endémica de Cuba occidental, presente en los suelos más pobres y secos en el Altiplano de Cajálbana donde único este pino forma un bosque compacto, aquí es donde alcanza la mayor altitud en su distribución natural con 350 msnm, que es el punto culminante de este altiplano; Alturas de Pizarras; llanura o "sabana arenosa" en Pinar del Río y la Isla de la Juventud, existe además varios cayos en la Sierra del Rosario que constituyen una prolongación de los pinares de Alturas de Pizarras. Los bosques de Pc constituyen un importante recurso genético y tiene una gran importancia económica y ecológica, de ellos se extrae madera para múltiples usos (construcción, pulpa, envases, extracción de resinas y otros), poseen además función en la restauración de suelo y para la repoblación de suelos arenosos muy pobres en nutrientes (Samek, 1989).

Pinus caribaea es adaptable a diferentes condiciones naturales (Samek, 1967, 1973). Crece naturalmente en cinco grupos de suelos, a saber: en suelos Fersialíticos derivados de gabro, en los Ferríticos y Fersialíticos derivados de serpentinita, en Ferralíticos derivados de esquistos y pizarras y sobre suelos Arenosos Cuarcíticos formados a partir de materiales silíceos, el pH de estos suelos oscila entre 4.5 y 6. 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 existe una amplia gama de estudios relacionados con la distribución de pinares; sin embargo, muchos de ellos han incorporado los modelos de distribución y 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.

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 (Envolventes Bioclimáticas), modelos estadísticos como Modelo Lineal Generalizado (MLJ), 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.

Para toda la región, la serie 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 460 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 de hábitats potenciales de los pinares naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* sobre la base de las condiciones climáticas actuales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio con la información de los pinares naturales *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* ubicados en la región que ocupa las Alturas de Cajálbana, Galalón y Caiguanabo en el municipio La Palma, área protegida San Ubaldo-Sabanalamar en la llanura suroccidental de Pinar del Río y en el noroeste de la Isla de la Juventud, para un área total de 8538,2 ha.

Para el estudio se tomó la georreferenciación de un total de 257 rodales de pinares de *Pc* 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 e Isla de la Juventud.

Los datos climáticos se obtuvieron de diez 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.

Las variables climáticas utilizadas correspondieron a la temperatura media, máxima media, mínima media mensual y precipitación mensual y anual. A Partir de estos datos se conformaron 17 mapas raster con la combinación de estas variables. Las capas de variables climáticas utilizadas fueron: temperatura promedio anual, rango medio diurno de temperatura, isothermalidad, 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, precipitación en el trimestre más lluvioso, precipitación del trimestre más seco, precipitación del trimestre más cálido y precipitación del trimestre más frío.

Se realizó la modelación con el programa MaxEnt 3.3.3 para determinar la distribución potencial de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en el occidente de Cuba a partir de su relación con las variables climáticas que identifican el comportamiento anual

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.*, 2004, 2006, 2010).

En la calibración del modelo se especifican 1 000 interacciones y el límite de convergencia se fijó 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 7.3.0, Sistema de Información Geográfico especialmente diseñado para hacer análisis espaciales de diversidad biológica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones del clima donde se desarrollan los *Pinus caribaea* var. *caribaea* no poseen un amplio rango climático. Está bien definido la presencia de un período lluvioso que se extiende desde junio hasta octubre, cuando cae alrededor del 75% del total de lluvia anual (unos 1 300 mm) y uno poco lluvioso de noviembre a mayo cuando cae el otro 25% (unos 800 mm), valores que coinciden con los reportados por Trusov (1970).

Los valores de temperatura media anual 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. Soportan oscilaciones de temperatura entre 5.3 y 9.8 °C.

El uso de la técnica *Receiver Operating Characteristic (ROC)*, como método para medir la exactitud del modelo de distribución predictiva del MaxEnt, nos dió una idea del desempeño de este con el cálculo del área bajo la curva (AUC) que explicará 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 0.959 (datos empleados en la generación del modelo), lo que significa que existe un excelente ajuste, por tanto, el uso del MaxEnt es adecuado para este caso.

De acuerdo con la prueba de *jackknife*, las variables que contribuyeron en mayor medida en la distribución espacial de la especie como variables independientes son,

la precipitación en el período lluvioso (Bio13), sobre todo en el trimestre más lluvioso (Bio16), perteneciente a valores de lluvia entre 700 mm y 1 200 mm (*figura 1*). En menor medida contribuye además el valor de temperatura media en el período frío (Bio11) con valores de 20.9°C a 23.5°C. Los resultados indican una más fuerte influencia del régimen anual de las precipitaciones en la distribución de *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

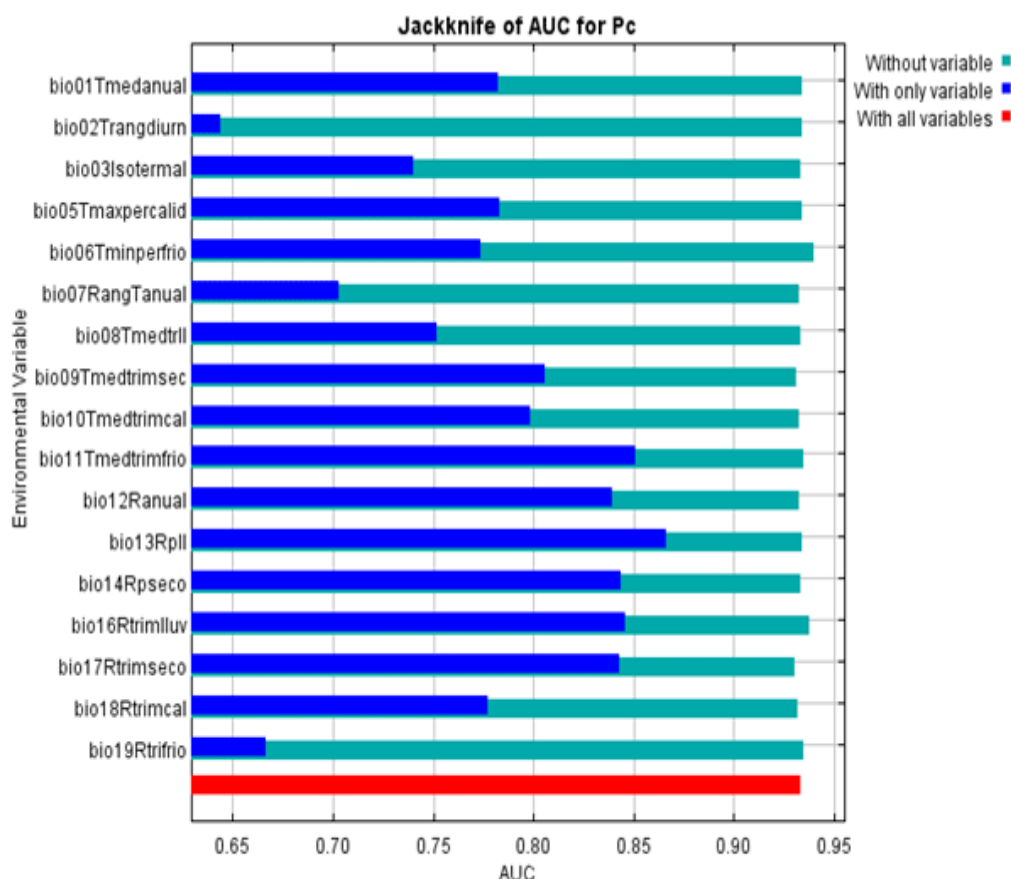


Figura 1. Prueba de jackknife para la contribución de cada variable bioclimática al modelo.

Los mapas resultantes de la probabilidad de distribución potencial de los bosques naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* indican que las mayores probabilidades de presencia relacionadas a las condiciones climáticas se localizaron en áreas similares a su presencia actual. No obstante, se apreció una ligera tendencia a la disminución del nicho potencial en las zonas de arenas blancas en San Ubaldo Sabanalamar en la parte más occidental de Pinar del Río y en las zonas norte y oeste de la Isla de la Juventud.

Las zonas con mayor probabilidad de hábitat potencial se estuvieron en las Alturas de Cajálbana y en Galalón en los municipios La Palma y Viñales y el norte de la Isla de la Juventud. Estas zonas actualmente constituyen importantes reductos genéticos

de bosques naturales de la especie (*figura 2*). En el caso del occidente de Cuba, el nicho climático para esta especie está más influenciado por el régimen anual de las precipitaciones que por otros factores ambientales, sin dejar de tener en cuenta que el factor edáfico define en esta especie su distribución geográfica actual. Para otras especies de coníferas localizadas en México como *Pinus herrerae* y *Taxus glabosa*, las variables climáticas temperatura y precipitación medias anuales son muy importantes para sus nichos, Ávila (2014), García-Aranda (2012); sin embargo, se tuvo en cuenta otras variables ambientales como tipo de suelo, altura, pendiente y exposición, las cuales mostraron mayor importancia que las variables climáticas sobre todo en las zonas montañosas con diferentes pisos climáticos.

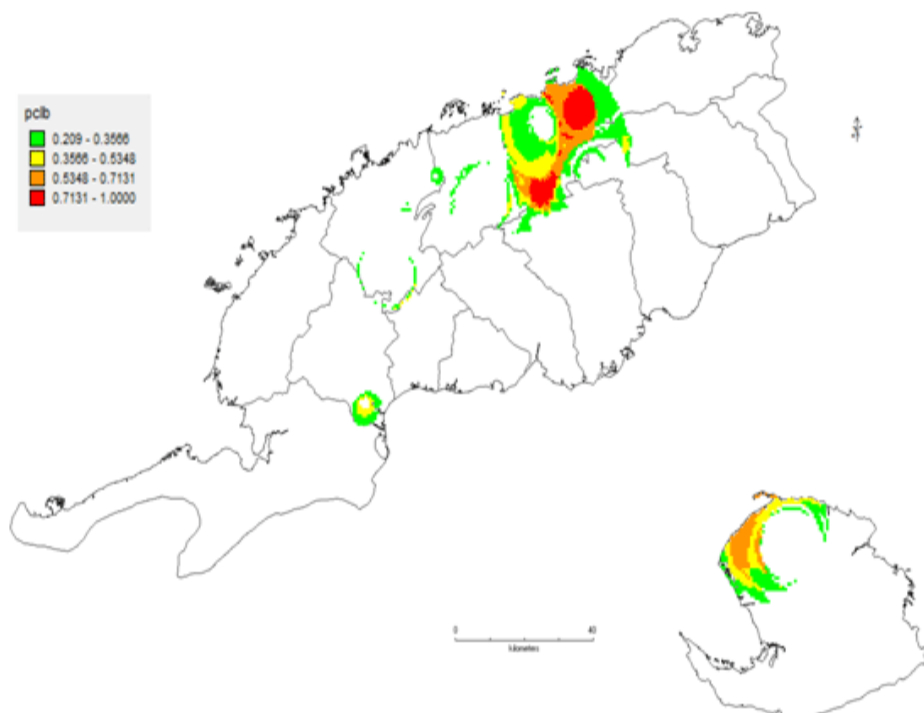


Figura 2. Distribución potencial de bosques naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en Pinar del Río.

CONCLUSIONES

Las variables climáticas más importantes que determinan la disponibilidad de hábitat son: la precipitación en el período lluvioso, sobre todo en el trimestre más lluvioso con lluvias entre 700 mm y 1 200 mm y la temperatura media en los meses más fríos con valores de 20.9°C a 23.5°C. *Pinus caribaea* var. *caribaea* tiene mejores probabilidades de nicho climático en las Alturas de Cajálbana y en Galalón en los municipios La Palma y Viñales, Pinar del Río, y el norte de la Isla de la Juventud, no así en San Ubaldo Sabanalamar en la parte más occidental de Pinar del Río y en las zonas norte y oeste de la Isla de la Juventud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, M.B., Pearson, R.G., Thuiller, W., Erhard, M. (2005). Validation of speciesclimate 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*. Ciudad de la Habana: Editorial Ciencia y Técnica.
- 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*. College of Natural Resources, NCSU. Raleigh, NC. USA. pp. 75-84.
- Elith, J. CH., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., et al. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151.
- 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, J., 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. p. 1-45.
- Matos, E. (1963). *Las coníferas en Cuba*. La Habana: INRA. 22 pp.
- Phillips, S.J., Dudík, M., Schapire, R. (s/f). *Una breve guía didáctica sobre MaxEnt*. 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., M. Dudik, R.E. Schapire (2004). *A maximum entropy approach to species distribution modeling*. En: Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning, Banff, Canadá.
- Phillips, S.J., Dudik, M., Schapire, R.E. (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*. México: CONAFOR. Primera edición. 72 pp.
- Samek, V. (1967). *Elementos de Silvicultura de los Pinares*. Editorial Universidad de la Habana. 130 p.
- Samek, V. (1973a). Pinares de Cajalbana. Estudio sinecológico. Academia de Ciencias de Cuba. *Serie Forestal*, (13), 56pp.
- Samek, V., Del Risco, E (1989). *Los pinares de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Estudio sinecológico*. La Habana: Editorial. Academia. 60 p.
- Sánchez, V., Galindo, J., Díaz, G. (2008). *Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña de México*. México, D. F. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Veracruzana. pp. 211-224.

Recibido: diciembre 2016

Aprobado: febrero 2017

MSc. *Carlos Alberto Miranda*. Máster en Ciencias Meteorológicas del Centro Meteorológico Provincial, Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: calberto@pri.insmet.cu