

Informe final* del Proyecto JM010
Distribución potencial de las especies Pinaceae (Pinus) y Fagaceae (Quercus) de México*

Responsable: Dr. Oswaldo Téllez Valdés
Institución: Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Iztacala
División de Investigación y Posgrado
Unidad de Biotecnología y Prototipos
Dirección: Av. de los Barrios # 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Mex, 54090 , México
Correo electrónico: tellez@unam.mx
Teléfono/Fax: 5623 1128; 5623 1134
Fecha de inicio: Mayo 15, 2012.
Fecha de término: Junio 4, 2019.
Principales resultados: Base de datos, cartografía, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Téllez-Valdés, O.; Miguel-Talonia, C.; Suárez-Mota, M.E.; Álvarez-Espino, R.X. y M.M. Hernández-Moreno. 2019. Distribución potencial de las especies Pinaceae (Pinus) y Fagaceae (Quercus) de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto JM010.** Ciudad de México.

Resumen:

La investigación sobre la distribución y la abundancia de la flora que cubre el país se ha vuelto un requisito indispensable para evaluar su importancia y estado de conservación. Existen grupos particulares que son característicos de algunos de los ambientes dominantes en el país, ambientes han funcionado como centros secundarios de diversificación en México, entre estos grupos están las especies de las familias Pinaceae y Fagaceae, con 47 y 161 especies respectivamente. Grupos para los cuales existe un número razonable de estudios en los cuales se ha dilucidado y actualizado esencialmente los aspectos taxonómicos y nomenclaturales. Sin embargo, la distribución geográfica de muchas de sus especies aún está insuficientemente conocida, y mucho menos entendida. Estos grupos poseen numerosas especies en el país, entre ellas numerosas endémicas a 1-2 estados y regionalmente. Se espera que mediante modelos de distribución potencial de las especies, de estos grupos se puedan brindar información suficiente, que permita identificar áreas prioritarias para su conservación, en este caso particular, las áreas con mayor potencial de conservación por ser especies de valor comercial. Para la generación de mapas de distribución potencial de las plantas se requiere de localidades georreferenciadas donde las especies han sido registradas, datos que pueden obtenerse de bases de datos biológicas, realizadas por diversas instituciones y recopiladas en la Red Mundial de la Información de la Biodiversidad coordinada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), esta información, se complementará mediante una búsqueda de registros en otras fuentes de información científica, así como obtener registros en campo. Se realizarán modelos de distribución potencial, empleando el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt) al cual se le interpolarán capas de cobertura climática (layers) generadas con BIOCLIM. Se entregarán 208 modelos, su cartografía y metadatos. Aunque se espera que se produzcan submodelos de acuerdo con la distribución geográfica de las especies de amplia distribución a través de las provincias fisiográficas de México.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

Informe Final del Proyecto JM010

Modelos de distribución potencial de especies de los géneros *Pinus* (Pinaceae) y *Quercus*

(Fagaceae)

Abril 2019

Datos generales del proyecto

Responsable:

Dr. Oswaldo Téllez Valdés.

Correo electrónico: tellez@unam.mx

Teléfono/Fax: 01-55-56231134

Participantes: M. en C. Cesar Miguel Talonia

Dr. Mario Ernesto Suárez Mota.

M. en C. Ana Laura Silva Galicia

Dr. Ricardo Xavier Álvarez Espino

M. en C. Mayra M. Hernández Moreno

Institución:

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

Universidad Nacional Autónoma de México.

Dirección:

Av. De los Barrios 1. Los Reyes Iztacala. Tlalnepantla, Estado de México. c.p. 54090.

INDICE

Resumen.....	3
Introducción.....	4
Control de calidad de la base de datos.....	5
Proceso de modelación.....	8
Variables predictoras.....	8
Selección de la región de modelado ‘M’.....	9
Modelación de MaxEnt.....	9
Desempeño del modelo.....	10
Umbral para definir la idoneidad.....	10
Conclusiones y recomendaciones.....	11
Literatura consultada.....	12

ANEXO I Lista de especies y variables usadas para modelas cada una de las especies de los géneros Pinus y Quercus.

ANEXO II. Valores de AUC del modelo

Resumen ejecutivo

La investigación sobre la distribución y la abundancia de la flora que cubre el país se ha vuelto un requisito indispensable para evaluar su importancia y estado de conservación. El objetivo del proyecto JM010 fue el de generar los modelos de distribución potencial de las especies los géneros *Pinus* y *Quercus*, géneros para los que en México se han reportado entre 47 y 51 especies y entre 130 y 160 especies, respectivamente. Después del minucioso proceso de control de calidad de los datos geográficos y nomenclaturales, la base de datos quedó conformada por 23,320 registros. Se obtuvo información suficiente para modelar la distribución de gran parte de las especies (45 especies de pinos y 127 de *Quercus*). Dado que para estos grupos existe un número razonable de estudios en los que los aspectos taxonómicos y nomenclaturales han sido resueltos, la calidad de muchos de los registros es incuestionable, además de que el proyecto contó con la participación de especialistas. Por lo anterior, los modelos de distribución potencial generados brindan información razonablemente confiable. Los modelos se generaron con el programa Máxima Entropía (MaxEnt) y se emplearon las 19 capas climáticas interpoladas por Cuervo-Robayo et al. (2013), así como las de WorldClim interpoladas por Hijmans et al. (2005). Se emplearon localidades georreferenciadas donde las especies han sido registradas. Todos los modelos fueron generados a una resolución espacial de 1 km², y la cartografía fue proporcionada a la Conabio en formato de ArcInfo grid. Los metadatos correspondientes a los mapas fueron elaborados en conjunto con la Conabio.

Introducción

México posee en su territorio un universo vegetal de excepcional diversificación, en donde resalta la combinación de elementos boreales y meridionales (Rzedowski, 1991a). El territorio mexicano ha funcionado desde el Terciario Medio como centro de evolución de linajes por la variedad de ambientes, antigüedad del establecimiento de su flora y diversidad climática, fisiográfica, geológica y edáfica, lo que ha producido un notable enriquecimiento en su diversidad alfa y beta (Rzedowski 1991a). Para tener un mejor entendimiento de la vegetación que cubre el país, ésta ha sido clasificada en diferentes tipos de vegetación (Rzedowski, 1978), y en esta clasificación, uno de los elementos más sobresalientes son los bosques templados. Los bosques se distribuyen con mayor frecuencia en las zonas de clima frío y templado y se clasifican, según el género de árbol dominante, en bosques de pino (coníferas), bosques de encinos y bosques mixtos (Rzedowski, 1978).

La mayoría de los bosques de encinos se encuentran entre los 1200 y 2800 msnm. En estos bosques se encuentran principalmente especies del género *Quercus*, del que se han reportado entre 130 y 160 especies en México (Nixon, 1993; Valencia, 2004). Los bosques de pino se desarrollan principalmente entre los 1500 y 3000 metros de altitud, aunque también pueden encontrarse a mayores alturas y constituyen el único tipo de vegetación que alcanza los 3 650 msnm, acompañada en la parte superior por zacatonales y oyameles (Rzedowski, 1978). El género *Pinus*, que forma parte de los géneros que tienen en México uno de sus principales centros de diversificación (Rzedowski, 1993), es uno de los más importantes por su valor comercial, y se tienen registradas entre 47 y 51 especies (Styles, 1993; Farjon y Styles, 1997). Los bosques mixtos forman mosaicos dentro de las altitudes mencionadas.

Los bosques templados constituyen un recurso de primera importancia por la demanda de madera, sin embargo, la explotación forestal inadecuada, así como los desmontes que se realizan para ampliar las zonas agrícolas, ganaderas y habitacionales restan superficie a los bosques y modifican la composición de los que aún quedan. En todos estos bosques se encuentran distintas especies de los géneros *Quercus* y *Pinus*, los cuales han sido estudiados de forma detallada desde el punto de vista taxonómico (Styles, 1993; Nixon, 1993; Farjon y Styles, 1997; Valencia, 2004, 2007). Sin embargo, aún no se tiene adecuadamente definida el área de la distribución de las especies que los componen.

Debido a ello se planteó este proyecto con el objetivo de generar modelos de distribución potencial de especies de los géneros *Quercus* y *Pinus*, haciendo mayor énfasis en las especies nativas de México.

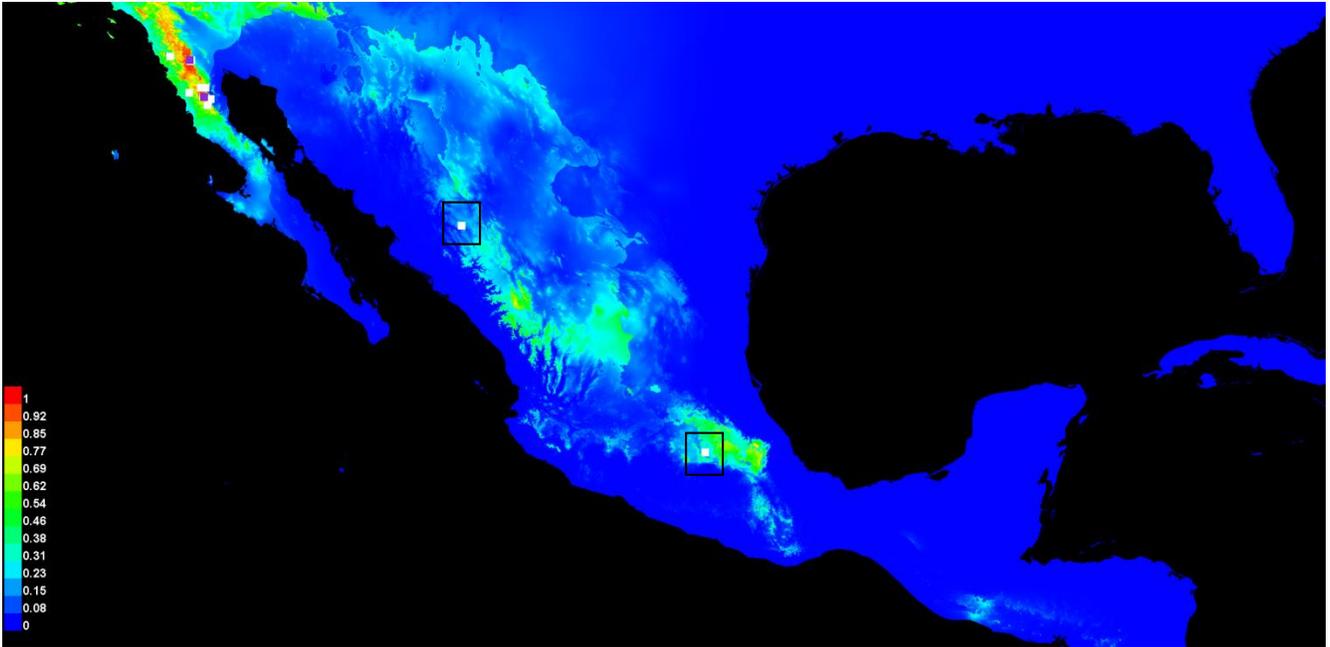
Desarrollo del Proyecto

1. Calidad de la información.

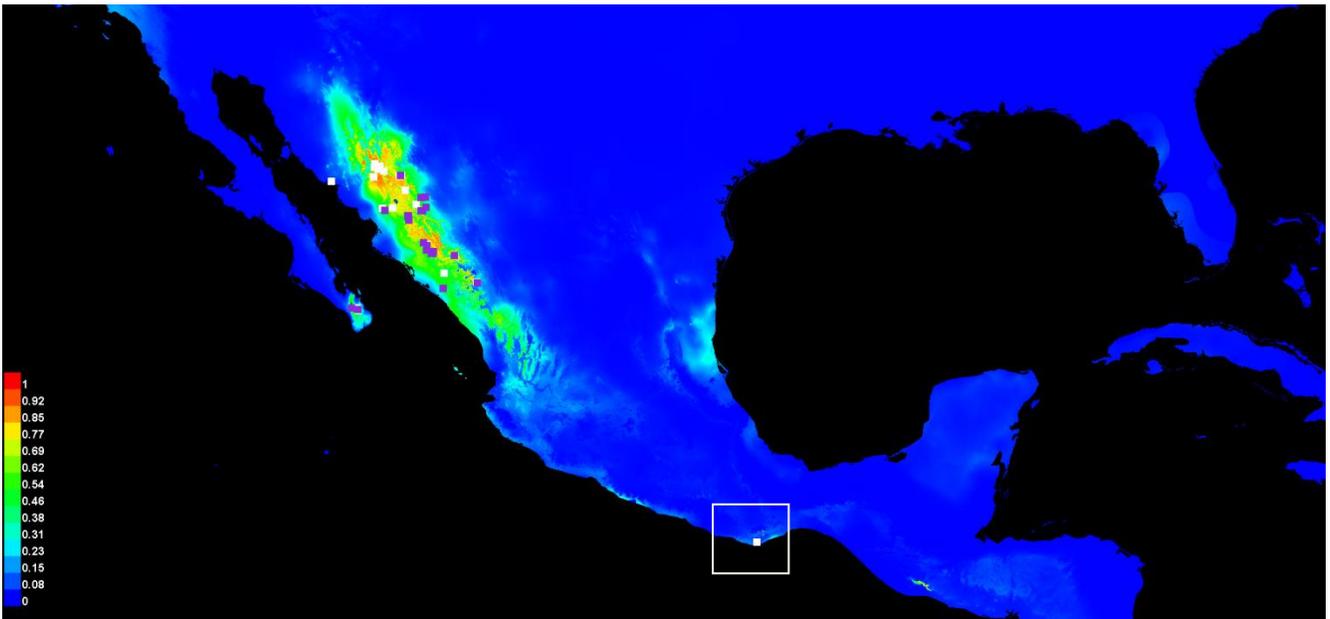
Los registros de las especies de *Pinus* y *Quercus* fueron provistos por el SNIB-CONABIO en una base de datos en formato de Access constituida por alrededor de 9,500 registros para alrededor de 70-75 nombres de especies de *Pinus* y otras Pinaceae. Así mismo, la base de datos estaba compuesta por alrededor de 30,000 registros para las especies de Fagaceae (incluyendo *Castanea* y *Fagus*, además de *Quercus*), y que superaban las 200 especies. De acuerdo con Villaseñor (2003), Farjon & Styles (1997) y Gernandt (<http://www.mexicanconifers.org/>), el género *Pinus* debía estar constituido por entre 47-51 especies y el género *Quercus* por entre 130 y 160 especies (Nixon, 1993; Valencia, 2004.).

La BDs fue revisada minuciosamente desde la perspectiva del control de la calidad de los datos solicitada por CONABIO. En primera instancia se revisaron los nombres y los registros contenidos en la BDs con respecto a la monografía del género *Pinus* de Flora Neotropica (Farjon & Styles, 1997), referencia con base en la cual se corrigieron algunos registros asignando el nombre correcto. Es pertinente señalar que la BDs provista por CONABIO contaba con registros con nombres "antiguos", probablemente resultado de los proyectos de repatriación. También contaba con registros con nombres incorrectos a los cuales difícilmente podría haberseles asignado un nombre correcto o aceptado, dado que no se tuvo acceso a los especímenes. Una vez que se llegó a un límite en el sentido de confianza y limitaciones para corrección nomenclatural y taxonómico, continuamos hacia la siguiente fase.

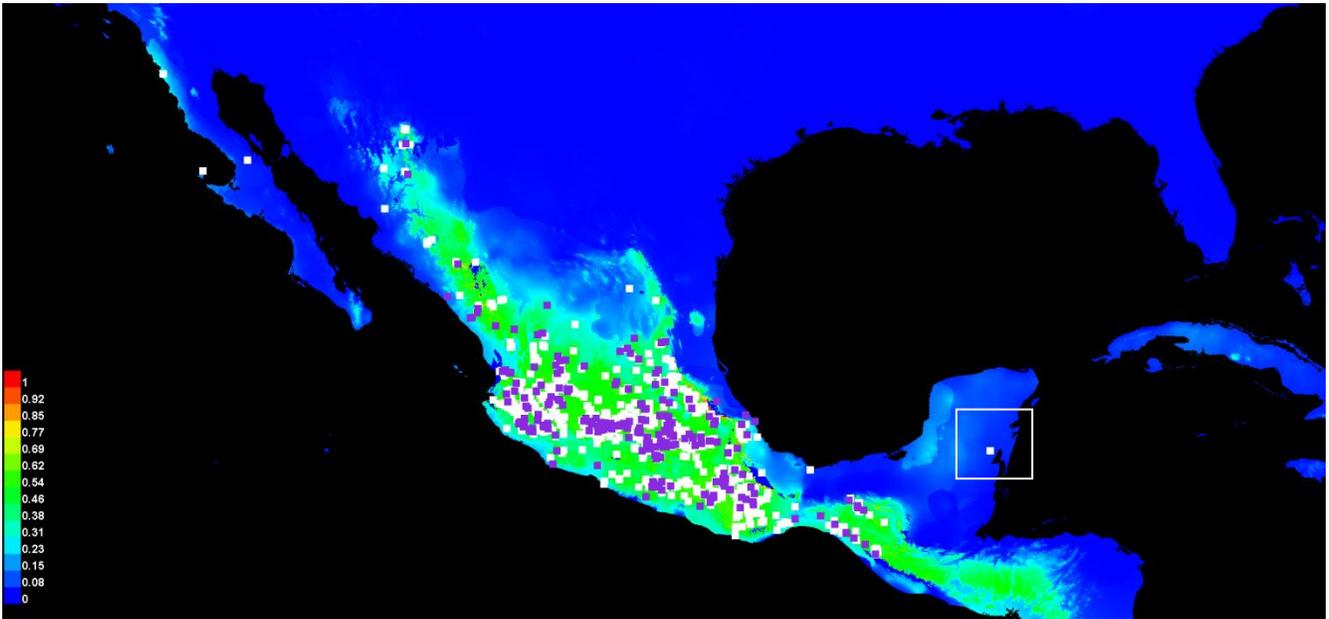
Dado que en una BDs es humanamente imposible verificar si los registros se encuentran razonablemente "ubicados" en el espacio geográfico en el cual sabemos o intuimos que se distribuye la especie, se produjo una primera versión de los modelos de distribución potencial sin hacer limpieza geográfica de los datos. De esta forma, los registros se revisaron visualmente en el modelo resultante. Por ejemplo, en el modelo de *Pinus jeffreyi*, que es una especie endémica marginal a Baja California y se distribuye de la misma manera en California, se pueden observar dos registros "muy" anómalos, uno en Zacatecas y otro en el D.F. Presentamos dos ejemplos más para el género *Quercus*, *Q. albocincta* y *Q. castanea*, donde también se observan registros anómalos evidentes. Estos registros anómalos fueron corregidos o dejados fuera de la segunda modelación.



Modelo preliminar de *Pinus jeffreyi*, con dos registros anómalos en Zacatecas y el D.F.



Modelo preliminar de *Quercus albocincta*, con un registro anómalo en la Costa de Oaxaca.



Modelo preliminar de *Quercus castanea*, con un registro anómalo en la Península de Yucatán.

Estos ejercicios preliminares permitieron detectar numerosas anomalías y fueron la base para centrarnos en tres aspectos relevantes: 1) la distribución geográfica consistente de cada especie, 2) la carencia de datos para algunas de las especies y por lo tanto no estaban incluidas en la BDs del SNIB y 3) los aspectos nomenclaturales, principalmente relacionados con la sinonimia.

Afortunadamente, para la resolución de estos problemas se contó con referencias clave escritas por especialistas (ver bibliografía), las cuales permitieron revisar y corregir problemas relacionados con la distribución geográfica dudosa y problemas de índole nomenclatural. Asimismo, se contó con el apoyo de la Dra. Susana Valencia, especialista del género *Quercus* de México, quien hizo observaciones a la información preliminar, lo que permitió actualizar la BDs y generar los modelos finales. Mediante las consultas a la especialista se logró incrementar el número de registros para algunas especies.

Además de las referencias bibliográficas y del apoyo de la especialista, los nombres de las especies fueron cotejados contra BDs de información taxonómica y nomenclatural internacionales en línea, como Trópicos (<http://www.tropicos.org>), IPNI (<http://www.ipni.org/index.html>) o ITIS (<http://www.itis.gov/servlet/>). Adicionalmente, se revisaron los datos incluidos en las etiquetas de los ejemplares depositados en el Herbario Nacional (MEXU) del Instituto de Biología de la UNAM. De esta manera se redujo notablemente la sinonimia y se corrigió la ortografía de los nombres.

La base de datos final quedó conformada con información para 45 especies del género *Pinus* y 164 especies del género *Quercus* (Anexo 1). En total, después del proceso de control de calidad, la base quedó conformada por 23,320 registros.

PROCESO DE MODELACIÓN

VARIABLES PREDICTORAS

Como variables predictoras de la distribución de las especies, se utilizaron las 19 capas climáticas interpoladas por Cuervo-Robayo et al. (2013), las cuales cubren el periodo entre 1910-2009, así como las de WorldClim interpoladas por Hijmans et al. (2005), para aquellas zonas dentro de los Estados Unidos de América y hacia el sur hasta Panamá. Todas las capas empleadas tienen un formato ASCII raster con una resolución espacial de 1 km². Las variables climáticas únicas para cada especie se identificaron del ejercicio Jackknife de MaxEnt.

Cuadro 1. Parámetros bioclimáticos usados para generar los modelos de distribución potencial.

1. Temperatura media anual (°C).
2. Rango medio diario (media mensual) (t°máx.- t° min.) (°C).
3. Isotermalidad (°C).
4. Temperatura Estacional (C of V) (%).
5. Temperatura máxima del mes más cálido (°C).
6. Temperatura mínima del mes más frío (°C).
7. Rango de Temperatura Anual (°C).
8. Temperatura media del trimestre más húmedo (°C).
9. Temperatura media del trimestre más seco (°C).
10. Temperatura media del trimestre más cálido (°C).
11. Temperatura media del trimestre más frío (°C).
12. Precipitación anual (mm).
13. Precipitación del mes más húmedo (mm).
14. Precipitación del mes más seco (mm).
15. Precipitación estacional (C of V) (%).

16. Precipitación del trimestre más húmedo (mm).
17. Precipitación del trimestre más seco (mm).
18. Precipitación del trimestre más cálido (mm).
19. Precipitación del trimestre más frío (mm).

Selección de la región de modelado ‘M’

Se definió una región a modelar ‘M’ consistente en un polígono formado por coordenadas extremas, basada en la distribución conocida de cada especie, de acuerdo con los registros obtenidos y delimitada por dos regionalizaciones: Provincias Bióticas (con énfasis en criterios morfotectónicos) de Ferrusquía-Villafranca (1990), para las especies que sólo se distribuyen en México, y las ecorregiones de la WWF para el caso de las especies con distribución más allá de los límites políticos de México. Se detectaron patrones para grupos de especies y con la ayuda de un script en R se recortó el conjunto de provincias y ecoregiones para cada grupo de especies. En algunos casos, de acuerdo con la localización de los sitios, se eliminó parte de las provincias seleccionadas, ya que algunas provincias o regiones eran demasiado extensas y las Ms para modelar resultaban demasiado extensas.

Modelación en MaxEnt

Para generar el modelo de distribución potencial de cada especie se utilizó el programa MaxEnt BlackBox (Phillips et al., 2017), que es un algoritmo ampliamente usado para entender la relación entre las variables ambientales y la presencia de las especies (Elith et al. 2011).

La calibración por omisión del programa fue la siguiente: multiplicador de regularización fue 1, umbral de convergencia en 10^{-5} y el número máximo de punto de espacio ambiental de 1,000 (los cuales sirven de pseudoausencias para el análisis de MaxEnt). Se seleccionó un máximo de 1500 iteraciones (Phillips et al. 2006) y se omitieron las opciones de Extrapolate y Clamping, las cuales pueden ser empleadas para predicciones futuras.

Se utilizó el 80% de registros para entrenamiento y el 20% para prueba, como se ha hecho en otros trabajos (Londoño-Murcia & Sánchez-Cordero, 2011). Esto permitió a MaxEnt usar el porcentaje para generar una curva para cada modelo (Receiver Operating Characteristic – por sus siglas en inglés -

ROC), con un valor asociado de AUC (area under the curve) para el mayor juego de datos (Phillips & Dudik, 2008; Marmion et al. 2009).

Las predicciones generadas con MaxEnt del nicho ecológico espacial tienen una escala de 0 (no adecuado) a 1 (muy adecuado) (Phillips et al. 2006). En todos los modelos se seleccionó el formato de salida Cloglog y el formato de ASCII para las predicciones, los cuales permitieron una interpretación más sencilla del modelo. Se seleccionaron las variables que como resultado brinda el análisis de Jackknife incluido en MaxEnt (Phillips & Dudik 2008). Se produjeron los archivos en formato ascii raster para cada una de las especies que fue modelada de acuerdo con la calibración referida.

Desempeño del modelo

Para tener cierto grado de certidumbre del rendimiento del programa MaxEnt se utilizó el algoritmo de la curva ROC que está incorporado en el mismo programa. El valor de AUC es una medida del rendimiento del programa y la fortaleza de los modelos generados. De acuerdo con Phillips et al. (2006) todos aquellos modelos con valores superiores a 0.5 (0.5 es como si los modelos hubiesen sido generados aleatoriamente) serían aceptables. Sin embargo, nosotros tomamos como límite para definir que los modelos fueron mejores cuando estos tuvieron valores superiores a 0.800 de AUC (Anexo II).

Umbral para definir la idoneidad

Aunque existen diferentes alternativas para determinar el umbral óptimo para definir la idoneidad resultante (Freeman & Moisen 2008), no se han establecido reglas para su determinación (Hu & Jiang 2010). En este trabajo optamos por seleccionar aquella que se denomina equal training sensitivity and specificity (Liu, 2005). Sin embargo, distintos modelos de algunas de las especies fueron mejores aplicando 10 percentile de acuerdo con Phillips et al. (2006), y estos se refieren en los metadatos.

En su mayoría los modelos muestran estadísticas diagnósticas satisfactorias; los valores de entrenamiento superaron en general 0.800, al igual que los de prueba para la prueba AUC, por lo que consideramos que estos representan la distribución de las especies de una manera razonable (ANEXO II).

7. Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones más relevantes originadas del proyecto están relacionadas con las fuentes de datos primarias. La cantidad y la calidad de los datos biológicos, han sido, son y siempre serán insuficientes, y difícilmente se conocerá la distribución real total de ninguna especie. Si bien los modelos son una aproximación valiosa para conocer la distribución de las especies, tienen limitantes importantes y por lo mismo deben emplearse con la debida cautela. Otro aspecto que es muy importante señalar, es que puede haber registros correctos desde el punto de vista taxonómico, pero anómalos desde el punto de vista geográfico-ambiental. Existen casos documentados en la flora de México que muestran distribuciones sustancialmente disyuntas en algunas especies y que, en ocasiones, no causan ningún impacto sobre el modelado desde el punto de vista estadístico; sin embargo, en otros casos estas disyunciones que se pueden interpretar como registros anómalos producen fuertes inconvenientes (subestimación de la distribución) en la generación de modelos de nicho ecológico. Este problema se trató de minimizar llevando a cabo un minucioso proceso de limpieza de los datos.

Otro tipo de casos son aquellos ejemplificados por *Quercus eduardii*, *Q. elliptica* o *Q. laeta* que cuentan con una cantidad importante de registros que parecen muestrear razonablemente los espacios ambiental y geográfico. Sin embargo, los modelos muestran valores intermedios de predictibilidad, y no se registran áreas con mayor probabilidad de "adecuabilidad". En este proyecto se contó con un importante número de registros para ambos grupos, y con literatura especializada que ayudó a depurar la BDs. Se contó también con el apoyo de especialistas, que revisaron registros y modelos, lo que nos hace tener cierta confianza en los resultados obtenidos, por lo que considero que un porcentaje alto de los modelos reflejan de una manera razonable, las distribuciones potenciales y del posible nicho fundamental de las especies.

Como recomendaciones de esta experiencia, está el rescate de datos de monografías y revisiones taxonómicas "viejas" y recientes. Muchas monografías y revisiones no precisan las localidades, y la obtención de coordenadas es muy demandante, pero si el proyecto cuenta con tiempo y recursos para hacerlo, vale la pena incorporar esta información, ya que reditúa en una mejor calidad de los modelos.

Experimentar con este tipo de datos y bajo distintos supuestos puede permitir incrementar la precisión y por ende, la confiabilidad de los resultados.

Referencias

- Cuervo-Robayo, A.P., Téllez-Valdés, Oswaldo, Gómez, Miguel, Venegas-Barrera, Crystian, Manjarrez, J. and E. Martínez-Meyer. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*. **Peer Review**.
- Farjon, A. y B. T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica Monograph* 75. The New York Botanical Garden. Bronx, New York. 239 pp.
- Farjon, A., J. A. Pérez de la Rosa y B. T. Styles. 1997. A field guide to the pines of México and Central America. The Royal Botanic Gardens. Kew. U.K. 151 pp.
- Gernandt, D. <http://www.mexicanconifers.org/>
- Gernandt, D. S., A. Liston y D. Piñero. 2001. Variation in the nrDNA ITS of *Pinus* subsection *Cembroides*: implications for molecular systematic studies of pine species complexes. *Mol. Phylogenet. Evol.* 21: 449–467.
- Gernandt, D. S., A. Liston y D. Piñero. 2003. Phylogenetics of *Pinus* subsections *Cembroides* and *Nelsoniae* inferred from cpDNA sequences. *Syst. Bot.* 28: 657–673.
- Gernandt, D. S., G. Geada López, S. Ortiz García y A. Liston. 2005. Phylogeny and classification of *Pinus*. *Taxon* 54: 29–42.
- Gernandt, D. S., O. Zerón Flores e I. Goyenechea. 2007. Inferencia filogenética mediante secuencias de DNA: un ejemplo con los pinos piñoneros. In: Contreras-Ramos, A., C. Cuevas Cardona, I. Goyenechea y U. Iturbe (eds.). *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo. pp. 55–65.
- Valencia, S.A. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Bol. Soc. Bot. México* 75: 33-53.
- Styles, B. T. 1993. Genus *Pinus*: a Mexican purview. In: Bye, R., A. Lot, J. Fa (eds.). *Biological diversity of México: origins and distribution*. Oxford University Press. Oxford, U.S.A. pp. 397–420.

ANEXO I

VARIABLES USADAS PARA MODELAR CADA UNA DE LAS ESPECIES DE LOS GÉNEROS *Quercus* Y *Pinus*.

1. Temperatura media anual (°C); 2. Rango medio diario (media mensual) ($t^{\circ}\text{máx.} - t^{\circ}\text{min.}$) (°C); 3. Isothermalidad (°C); 4. Temperatura Estacional (C of V) (%); 5. Temperatura máxima del mes más cálido (°C); 6. Temperatura mínima del mes más frío (°C); 7. Rango de Temperatura Anual (°C); 8. Temperatura media del trimestre más húmedo (°C); 9. Temperatura media del trimestre más seco (°C); 10. Temperatura media del trimestre más cálido (°C); 11. Temperatura media del trimestre más frío (°C); 12. Precipitación anual (mm); 13. Precipitación del mes más húmedo (mm); 14. Precipitación del mes más seco (mm); 15. Precipitación estacional (C of V) (%); 16. Precipitación del trimestre más húmedo (mm); 17. Precipitación del trimestre más seco (mm); 18. Precipitación del trimestre más cálido (mm); 19. Precipitación del trimestre más frío (mm).

Especies de Quercus/variables	1	14	5	4	10	19	12	18	2	16	17	9	8	11	15	6	7	13	3
acherdophylla				4	10	19		18	2						15			13	3
acutifolia				4											15	6		13	3
affinis		14		4										11	15		7		3
agrifolia		14				19		18	2				8		15				
ajoensis		14		4		19		18		16	17		8			6			
albocincta				4		19		18	2						15			13	
aristata				4				18		16					15			13	
arizonica		14		4		19		18	2				8		15	6			3
benthamii	1			4				18										13	3
brandegeei		14		4		19		18					8		15				
canbyi		14		4					2	16	17	9		11	15		7		3
candicans				4										11	15	6		13	3
castanea				4											15	6		13	3
cedrosensis		14		4		19		18			17								3
chihuahuensis				4		19		18							15				3
chrysolepis		14				19						9	8	11		6			
clivicola				4		19	12		2		17			11			7		
coahuilensis		14				19	12						8	11					
coccolobifolia				4		19		18	2		17				15	6			3
convallata		14		4		19									15	6		13	3
conzattii										16	17				15	6		13	3
cordifolia				4		19		18		16	17	9		11	15	6		13	3
cornelius-mulleri		14		4		19		18					8						
corrugata		14		4		19				16				11				13	3
cortesii	1			4		19		18						11				13	3
crassifolia		14									17			11	15	6			3
crassipes				4			12								15	6			3
crispifolia		14		4		19			2						15			13	
crispipilis	1			4				18										13	3
cualensis		14		4				18		16					15	6			

cupreata		14			19	12					9		11				13	
delgadoana		14		10	19			2									13	
deliquescens	1	14		10	19	12		2		17		8	11	15				3
depressa			5	4	10	19		18		16				15	6			3
depressipes	1			4	10	19		18	2				11	15				3
deserticola				4	10	19	12			16				15	6			3
devia		14		4		19		18										
diversifolia	1	14		4	10	19			2	16				15	6	7		3
dumosa		14				19		18				9				6		
durifolia	1			4	10	19		18						15			13	3
eduardi				4		19								15	6	7		3
elliptica				4						16				15		7	13	3
emoryi				4		19		18	2			9		11	15		7	3
engelmannii				4		19		18					8		15			
flocculenta		14		4	10	19			2	16				15				
frutex	1	14		4	10	19			2					15		7		3
fulva				4		19		18						15			13	3
fusiformis	1	14		4		19				17	9	8	11	15	6			
galeanensis		14		4		19	12	18	2	16	17		11	15	6		13	
gambelii	1			4		19		18	2									3
gentryi				4		19							11	15	6		13	
germana		14		4									11	15			13	3
ghiesbreghtii		14	5	4		19						9		15		7	13	3
glabrescens	1	14		4	10							8	11	15	6			3
glaucescens				4	10			18	2	16				15		7	13	3
glaucoides				4			12	18						15	6	7	13	3
grahamii		14	5	4		19			2				11		6			3
gravesii				4		19	12		2		17		8	11	15	6	7	3
greggii		14		4								9		15	6	7		3
grisea	1			4		19		18	2					15	6			3
hintonii		14		4		19				16			8		15	6		

hintoniorum			4	10	19			2	16	17	9			15	6	7	13	3
hypoleucoides			4		19		18						11	15				3
hypoxantha			4			12		2	16	17	9			15	6	7		3
iltisii							18							15				
insignis		14	4		19			2		17	9		11	15	6	7	13	3
intricata		14	4		19	12			16	17		8	11	15	6	7		3
invaginata			4		19	12				17	9			15	6	7		
laceyi		14	4		19				16	17	9			15	6	7		3
laeta					19		18							15	6	7		3
lancifolia	1	14	4		19	12	18								6	7	13	
laurina	1		4	10		12							11	15	6			3
laxa					19			2		17				15			13	3
leiophylla		14			19								11	15			13	
liebmannii			4		19	12						8		15	6		13	3
macdougallii			4	10	19		18		16					15	6			3
macvaughii			4		19		18	2						15	6			
magnoliifolia						12								15	6		13	3
martinezii					19				16					15	6			
mexicana		14	4										11	15	6	7		3
microphylla			4			12				17					6	7		3
miquihuanensis			4		19			2	16					15				
mohriana	1		4	10	19			2	16	17		8		15	6			3
muehlenbergii	1	14	4		19			2	16		9	8		15	6			
nixoniana			4		19	12			16	17				15	6		13	
oblongifolia		14	4		19		18	2					11	15	6			3
obtusata					19									15	6			3
ocoteifolia			4		19							8	11	15	6		13	3
oleoides	1	14	4						16			8		15	6	7	13	
oocarpa			4	10	19													
opaca			4		19								11	15				
palmeri		14	4		19			2	16	17		8				7		3

peduncularis	1		4										15	6	7	13	3	
peninsularis		14	4		19						8				7			
perpallida			5				18	2					15			13		
pilarius					19		18						15			13		
planipocula		14							16				15					
polymorpha		14	4									11	15		7		3	
potosina			4	10	19			2					15	6	7		3	
praeco		14	4		19								15	6		13		
praineana			4				18		16			11	15					
pringlei		14	4		19						9		15	6	7	13	3	
pungens		14	4				18	2			9	8	15	6				
purulhana			4		19		18	2										
radiata		14	4	10			18						15				3	
repanda	1	14	4	10							9		15	6			3	
resinosa			4		19								15	6	7		3	
rhysophylla		14	4									11	15		7			
rubramenta	1				19				16				15	6				
rugosa		14	4	10		12	18				8	11	15	6			3	
salicifolia			5		19				16				15			13		
saltillensis			4		19			2		17	9		15	6	7		3	
sapotifolia	1	14	4						16				11	15		13	3	
sartorii		14	4		19								11	15		7	13	3
scytrophylla			4						16				15	6				
sebifera		14		10				2					11	15		7	3	
segoviensis	1		4	10									15	6	7	13	3	
sideroxylla			4		19		18						11	15		7	3	
sinuata	1							2	16									
skinneri	1		4		19		18						15		7	13	3	
splendens			4		19								15	6		13		
striatula		14	4		19	12		2										
subspathulata		14			19			2					15	6		13		

tarahumara			4		19		18	2						15	6		13	
tinkhamii		14	4					2	16								13	3
tomentella							18	2		17		8				7		
toumeyi			4		19		18	2					11	15	6			
tuberculata			4		19								11	15		7		3
turbinella			4		19	12		2			9	8	11	15	6	7		3
undata		14	4	10	19	12	18		16					15				3
urbanii					19								11	15	6		13	
uxoris									16				11	15				
vaseyana	1		4		19		18	2		17	9			15	6	7		3
vicentesis	1		4		19		18		16						6		13	
viminea			4		19		18							15			13	3
x_basaseachicensis			5				18	2						15				
x_dysophylla	1	14	4	10								8		15				3
xalapensis		14	4										11	15		7	13	3

Especies de Pinus/variables	14	5	4	10	19	12	18	2	16	17	9	8	11	15	6	7	13	3	1
arizonica		5	4	10	19		18					8	11	15	6	7		3	
attenuata	14				19		18					8	11	15					
ayacahuite			4	10	19				16	17		8	11	15				3	1
caribaea	14		4		19		18	2			9			15		7	13	3	
cembroides	14		4		19		18				9			15	6	7		3	1
chiapensis	14		4		19							8	11	15		7	13	3	1
contorta	14				19		18	2				8	11	15					
coulteri	14				19		18					8	11	15					
culminicola	14		4	10			18		16	17	9							3	
devoniana			4	10	19							8	11	15	6		13	3	1
douglasiana					19		18	2	16				11	15	6				1
durangensis			4		19		18						11	15			13	3	
engelmannii	14		4		19		18	2				8	11	15				3	1

flexilis			4	10				2		17	9						3	1		
greggii	14		4					18	2		17	9	8	11	15	6	7	3		
hartwegii	14		4	10							9		11		6			3	1	
herrerae					19					16		8	11	15					1	
jaliscana			4					18		16				15						
jeffreyi	14		4		19			18				8		15				3		
lagunae	14							18	2			9	8		15	6	7			
lambertiana	14		4		19			18				9	8		15					
lawsonii	14		4	10	19	12						8	11	15				13	3	1
leiophylla			4		19			18				8		15	6			13	3	1
lumholtzii			4		19			18						15	6			13	3	
luzmariae	14		4					18						15	6			13	3	
maximartinezii	14		4		19			18	2		17			15	6			13		
maximinoi			4	10	19	12			2	16			8	11	15	6		13	3	1
monophylla	14		4	10	19			18		16			8	11					3	
montezumae	14		4	10	19	12						8	11	15	6				3	1
muricata	14				19			18				8							3	
nelsonii			4		19				2		17	9		11	15	6			3	
oocarpa		5	4					18	2				8	11	15		7	13	3	1
patula	14							18			17	9	8	11	15			13	3	
pinceana			4		19	12		18			17		8		15	6	7		3	
ponderosa			4	10				18	2		17				15				3	1
praetermissa	14	5	4		19	12								15	6			13	3	
pringlei			4		19	12				16			8		15					1
pseudostrobus	14		4	10		12						9	8	11	15		7		3	1
quadrifolia	14		4		19			18				8								
radiata	14				19	12		18										13	3	
remota	14		4		19	12		18	2			9		11	15	6	7			1
rzedowskii			4					18		16	17				15				3	1
strobiformis		5	4	10	19			18	2			9	8	11		6			3	1
tecunumanii			4			12		18					8	11	15			13	3	1

teocote	14	4	19	18				8	11	15	7	3
---------	----	---	----	----	--	--	--	---	----	----	---	---

Apéndice II. Valores de AUC obtenidos para cada uno de los modelos de Quercus y Pinus.

Taxón	entrenamiento (training)	prueba (test)	Valor de Umbral de corte (Threshold)
Quercus acutifolia	0.818	0.803	0.415
Quercus acherdophylla	0.991	0.982	0.755
Quercus affinis	0.885	0.879	0.442
Quercus agrifolia	0.933	0.921	0.126275
Quercus ajoensis	0.988	0.985	0.416
Quercus albocincta	0.974	0.941	0.374
Quercus aristata	0.955	0.965	0.273
Quercus arizonica	0.891	0.875	0.575
Quercus benthamii	0.965	0.907	0.291
Quercus brandegeei	0.983	0.98	0.094
Quercus calophylla	0.814	0.778	0.367857
Quercus canbyi	0.942	0.942	0.344
Quercus castanea	0.736	0.723	0.51374
Quercus cedrosensis	0.975	0.948	0.431
Quercus clivicola	0.614	1	0.654
Quercus coccolobifolia	0.928	0.875	0.437
Quercus convallata	0.959	0.931	0.349
Quercus conzattii	0.941	0.911	0.454

<i>Quercus cordifolia</i>	0.973	0.979	0.306
<i>Quercus cornelius-mulleri</i>	0.972	0.967	0.367
<i>Quercus corrugata</i>	0.946	0.939	0.413
<i>Quercus cortesii</i>	0.954	0.941	0.245
<i>Quercus crassifolia</i>	0.838	0.835	0.368
<i>Quercus crassipes</i>	0.813	0.792	0.464
<i>Quercus crispifolia</i>	0.981	0.968	0.405
<i>Quercus crispipilis</i>	0.962	0.954	0.427
<i>Quercus cualensis</i>	0.991	0.99	0.179
<i>Quercus chihuahuensis</i>	0.882	0.887	0.571
<i>Quercus chrysolepis</i>	0.986	0.989	0.243
<i>Quercus depressa</i>	0.979	0.982	0.209
<i>Quercus depressipes</i>	0.953	0.931	0.46
<i>Quercus deserticola</i>	0.893	0.884	0.301158
<i>Quercus devia</i>	0.987	0.999	0.144
<i>Quercus diversifolia</i>	0.965	0.938	0.36
<i>Quercus dumosa</i>	0.964	0.95	0.271
<i>Quercus durifolia</i>	0.945	0.946	0.479
<i>Quercus eduardi</i>	0.828	0.845	0.452473
<i>Quercus elliptica</i>	0.858	0.859	0.557
<i>Quercus emoryi</i>	0.864	0.87	0.606
<i>Quercus engelmannii</i>	0.957	0.957	0.491
<i>Quercus frutex</i>	0.872	0.852	0.388
<i>Quercus fulva</i>	0.949	0.931	0.336
<i>Quercus fusiformis</i>	0.951	0.927	0.383

<i>Quercus galeanensis</i>	0.981	0.918	0.359
<i>Quercus gambelii</i>	0.726	0.723	0.65
<i>Quercus gentryi</i>	0.934	0.852	0.349
<i>Quercus germana</i>	0.931	0.926	0.362
<i>Quercus glabrescens</i>	0.915	0.907	0.447
<i>Quercus glaucescens</i>	0.907	0.916	0.452
<i>Quercus glaucooides</i>	0.876	0.859	0.408111
<i>Quercus grahamii</i>	0.985	0.926	0.179
<i>Quercus gravesii</i>	0.956	0.958	0.357
<i>Quercus greggii</i>	0.921	0.918	0.512
<i>Quercus grisea</i>	0.82	0.786	0.604
<i>Quercus hintonii</i>	0.969	0.984	0.209
<i>Quercus hintoniorum</i>	0.987	0.992	0.142
<i>Quercus hypoleucooides</i>	0.917	0.911	0.514
<i>Quercus hypoxantha</i>	0.965	0.884	0.213
<i>Quercus iltisii</i>	0.972	0.975	0.538
<i>Quercus insignis</i>	0.985	0.916	0.106
<i>Quercus intricata</i>	0.964	0.98	0.335
<i>Quercus invaginata</i>	0.955	0.931	0.493
<i>Quercus laceyi</i>	0.96	0.896	0.415
<i>Quercus laeta</i>	0.774	0.765	0.497423
<i>Quercus lancifolia</i>	0.962	0.916	0.268
<i>Quercus laurina</i>	0.779	0.778	0.485995
<i>Quercus leiophylla</i>	0.975	0.974	0.258
<i>Quercus liebmannii</i>	0.955	0.914	0.361

<i>Quercus macdougalii</i>	0.964	0.99	0.122
<i>Quercus macvaughii</i>	0.963	0.977	0.362
<i>Quercus magnoliifolia</i>	0.778	0.775	0.489403
<i>Quercus martinezii</i>	0.921	0.886	0.482
<i>Quercus mexicana</i>	0.852	0.839	0.609
<i>Quercus microphylla</i>	0.904	0.888	0.452
<i>Quercus miquihuanensis</i>	0.963	0.982	0.167
<i>Quercus mohriana</i>	0.98	0.992	0.288
<i>Quercus muehlenbergii</i>	0.737	0.603	0.648
<i>Quercus nixoniana</i>	0.981	0.969	0.18
<i>Quercus oblongifolia</i>	0.909	0.866	0.279
<i>Quercus obtusata</i>	0.743	0.741	0.457908
<i>Quercus ocoteifolia</i>	0.949	0.945	0.276
<i>Quercus oleoides</i>	0.872	0.844	0.460551
<i>Quercus opaca</i>	0.591	0.182	0.631
<i>Quercus palmeri</i>	0.952	0.945	0.471
<i>Quercus peduncularis</i>	0.917	0.906	0.605
<i>Quercus peninsularis</i>	0.966	0.952	0.247
<i>Quercus perpallida</i>	0.978	0.909	0.36
<i>Quercus planipocula</i>	0.955	0.933	0.278
<i>Quercus polymorpha</i>	0.898	0.89	0.54
<i>Quercus potosina</i>	0.912	0.906	0.559
<i>Quercus praeco</i>	0.975	0.937	0.354
<i>Quercus praineana</i>	0.967	0.932	0.345
<i>Quercus pringlei</i>	0.945	0.95	0.454

<i>Quercus pungens</i>	0.951	0.922	0.338
<i>Quercus purulhana</i>	0.604	0.562	0.570999
<i>Quercus radiata</i>	0.967	0.917	0.498
<i>Quercus repanda</i>	0.969	0.967	0.286
<i>Quercus resinosa</i>	0.887	0.858	0.566
<i>Quercus rhysophylla</i>	0.955	0.932	0.4
<i>Quercus rubramenta</i>	0.96	0.865	0.232
<i>Quercus rugosa</i>	0.755	0.741	0.538588
<i>Quercus salicifolia</i>	0.92	0.943	0.407
<i>Quercus saltillensis</i>	0.954	0.946	0.179
<i>Quercus sapotifolia</i>	0.931	0.932	0.372
<i>Quercus sartorii</i>	0.926	0.899	0.412
<i>Quercus scytophylla</i>	0.89	0.887	0.52
<i>Quercus sebifera</i>	0.928	0.9	0.331
<i>Quercus segoviensis</i>	0.949	0.928	0.449
<i>Quercus sideroxyla</i>	0.844	0.852	0.563
<i>Quercus skinneri</i>	0.953	0.915	0.407
<i>Quercus splendens</i>	0.925	0.862	0.448
<i>Quercus striatula</i>	0.727	0.909	0.618
<i>Quercus subspathulata</i>	0.941	0.938	0.449
<i>Quercus tarahumara</i>	0.974	0.98	0.16
<i>Quercus tinkhamii</i>	0.984	0.97	0.324
<i>Quercus tomentella</i>	0.991	0.991	0.019
<i>Quercus toumeyii</i>	0.958	0.955	0.435
<i>Quercus tuberculata</i>	0.902	0.918	0.179

Quercus turbinella	0.812	0.787	0.438491
Quercus urbanii	0.952	0.88	0.46
Quercus uxoris	0.954	0.885	0.42
Quercus vaseyana	0.947	0.948	0.258
Quercus vicentensis	0.982	0.997	0.223
Quercus viminea	0.888	0.837	0.526
Quercus x basaseachicensis	0.982	0.886	0.232
Quercus x dysophylla	0.933	0.955	0.429
Quercus xalapensis	0.941	0.869	0.052232

Taxón	entrenamiento (training)	prueba (test)	Valor de Umbral de corte (Threshold)
Pinus arizonica	0.86	0.846	0.377
Pinus attenuata	0.979	0.989	0.8
Pinus ayacahuite	0.938	0.917	0.409
Pinus caribaea	0.918	0.788	0.342
Pinus cembroides	0.832	0.819	0.423
Pinus contorta	0.976	0.958	0.134
Pinus coulteri	0.975	0.958	0.326
Pinus culminicola	0.968	0.961	0.226
Pinus chiapensis	0.924	0.913	0.307
Pinus devoniana	0.885	0.876	0.454
Pinus douglasiana	0.92	0.927	0.365
Pinus durangensis	0.924	0.913	0.359
Pinus engelmannii	0.914	0.928	0.359
Pinus flexilis	0.746	0.742	0.513
Pinus greggii	0.944	0.966	0.404
Pinus hartwegii	0.883	0.871	0.381967

Pinus herrerae	0.923	0.918	0.351
Pinus jaliscana	0.986	0.987	0.151
Pinus jeffreyi	0.966	0.952	0.327
Pinus lagunae	0.994	0.992	0.283
Pinus lambertiana	0.968	0.959	0.182
Pinus lawsonii	0.885	0.806	0.468
Pinus leiophylla	0.783	0.765	0.481
Pinus lumholtzii	0.896	0.888	0.448
Pinus luzmariae	0.966	0.957	0.337
Pinus maximartinezii	0.991	0.984	0.471
Pinus maximinoi	0.917	0.894	0.498
Pinus monophylla	0.943	0.911	0.347
Pinus montezumae	0.875	0.893	0.363
Pinus muricata	0.983	0.98	0.158
Pinus nelsonii	0.961	0.953	0.443
Pinus oocarpa	0.836	0.82	0.437
Pinus patula	0.918	0.936	0.224
Pinus pinceana	0.945	0.947	0.497
Pinus ponderosa	0.897	0.868	0.325
Pinus praetermissa	0.972	0.969	0.593
Pinus pringlei	0.912	0.847	0.371
Pinus pseudostrobus	0.802	0.789	0.413
Pinus quadrifolia	0.959	0.926	0.319
Pinus radiata	0.992	0.995	0.556
Pinus remota	0.963	0.941	0.283
Pinus rzedowskii	0.988	0.957	0.381
Pinus strobiformis	0.886	0.859	0.447
Pinus tecunumanii	0.919	0.883	0.472
Pinus teocote	0.829	0.862	0.641