

Informe final* del Proyecto JM052
REDDEAM: Riesgo de extinción determinado por distribución de árboles mexicanos*

Responsable: Dr. John Duncan Golicher
Institución: El Colegio de la Frontera Sur
Unidad San Cristóbal de las Casas
Departamento de Conservación de la Biodiversidad
Grupo Conservación y Restauración de Bosques
Dirección: Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chis, 29290 , México
Correo electrónico: dgoliche@ecosur.mx
Teléfono/Fax: 01 (967) 674 9000 ext. 1310
Fecha de inicio: Agosto 15, 2012.
Fecha de término: Marzo 5, 2021
Principales resultados: Base de datos, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Vaca, R. A., González-Espinoza, M., Ramírez-Marcial, N., Cayuela L. y A. Newton Bournemouth. 2021. REDDEAM: Riesgo de extinción determinado por distribución de árboles mexicanos. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal. **Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. JM052.** Ciudad de México. .

Resumen:

El proyecto tiene como objetivo determinar el riesgo de extinción de más de mil especies de árboles presentes en México. Para lograr esta meta, el proyecto aprovechará los logros de tres proyectos de investigación previos dirigidos a establecer el grado de amenaza de los árboles del bosque mesófilo, la riqueza potencial de los bosques mexicanos y la sistematización de datos de inventarios florísticos a lo largo de la región Mesoamericana. Se aplicarán modelos de distribución para establecer la extensión de distribución y el área ocupada por especies mexicanas de árboles a nivel global. Basado en los resultados de la modelación se aplicarán los criterios establecidos por la UICN para determinar cuáles especies tienen una distribución geográfica con características que los ponen en riesgo de extinción al nivel global. Los productos esperados son más de 1000 mapas de distribución y una lista de especies de árboles amenazados, plenamente justificado bajo los criterios tipo B de la UICN (extensión de la distribución geográfica y área ocupada). Se publicará los resultados en una revista de alto impacto y se incorporarán en las evaluaciones del UICN. Se espera que el proyecto pueda influir en la definición de políticas y prácticas de la conservación en México y otros países y generar información que estimulará nuevas perspectivas sobre la biogeografía de la vegetación mexicana.

-
- * 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.

**REDDEAM: Riesgo de extinción determinado por distribución de árboles Mexicanos
Marzo 2021**

Responsable del Proyecto: Dr. Duncan Golicher

Participantes:

Dr. Raul Vaca. Cátedra CONACyT. El Colegio de San Luis A.C. El Colegio de La Frontera Sur. Modelos de distribución de especies

Dr Mario Gonzalez-Espinosa Investigador Titular, El Colegio de La Frontera Sur: Evaluación experta

Neptali Ramirez-Marcial Investigador Titular El Colegio de la Frontera Sur: Evaluación experta

Dr Luis Cayuela, Investigador postdoctoral Universidad Rey Juan Carlos: Validación de modelos con datos de inventarios florísticos

Professor Adrian Newton Bournemouth University IUCN Tree specialist group: Integración de resultados en la lista roja del IUCN

Institución: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur)

Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n

Barrio de María Auxiliadora

CP 29290 San Cristóbal de Las Casas, Chiapas

Resumen ejecutivo

El objetivo general de este proyecto fue establecer el riesgo de extinción asociado con la extensión de la distribución y el área ocupada de las especies de árboles presentes en la república Mexicana.

Este objetivo general se cumpliría con el desarrollo de los siguientes Objetivos particulares:

1. Modelar la distribución actual y potencial de las especies de árboles presentes en México a lo largo de Norte, Centro y Sur América a una resolución de 5km x 5km.
2. Calcular la proporción de la distribución de cada especie que cae dentro del territorio nacional.
3. Evaluar el grado de amenaza de cada especie a lo largo de toda su área de distribución contra los criterios B1 y B2 de la lista roja de la UICN.
4. Identificar especies endémicas de México, especies en los límites de su distribución y especies con poblaciones disyuntas.
5. Modelar la distribución actual y potencial de las mismas especies dentro de México a una resolución de 1 km x 1 km.
6. Calcular la proporción del rango de distribución de cada especie considerada como amenazada que cae dentro de áreas naturales protegidas dentro de México.
7. Interpretar los resultados dentro del contexto de planificación de la conservación en México.

De los objetivos planteados en este proyecto, únicamente se cumplió parcialmente el objetivo 1. De las cerca de 2,000 especies para las que se pretendía modelar el nicho ecológico para a partir de ahí generar el mapa de distribución, se consiguieron registros suficientes como para generar un modelo para 1,491 de ellas. Adicionalmente, se entregaron a la Conabio mapas de distribución para 52 especies que no formaron parte de la lista de especies comprometidas en el Convenio. Por un acuerdo al que se llegó con la Coordinación General de Información y Análisis (CGIA) de la Conabio, la entrega se centró en los mapas de distribución potencial y se dejaron de lado los mapas de distribución actual, ya que la elaboración, entrega y revisión de los mapas de distribución actual (que de acuerdo con el proyecto consistían en mapas donde se incluían los registros de colecta de la especie), hubiera llevado mucho más tiempo. Para cada especie se proporcionó a la Conabio la información básica para que fuera elaborado el metadato de cada mapa. Se logró además, compilar una base de datos en formato DarwinCore con información para esas 1,543 especies (incluidas en el listado original de especies a modelar y las 52 especies que no estaban incluida. Esta base de datos pasó por un estricto control de calidad de información.

Índice

- I. **Desarrollo del proyecto**
 1. Calidad de Información
 2. Criterio de Selección de la región de referencia (M)
 3. Variables utilizadas en la modelación
 4. Método de modelación
 5. Parámetros utilizados en la modelación
 6. Evaluación de modelos
- II. Conclusiones y recomendaciones
- III. Referencias
- IV. Anexo 1 (archivo Excel aparte)

Introducción

México tiene una diversidad de especies de plantas excepcional¹. La pérdida de la biodiversidad sigue acelerándose a nivel global² como consecuencia de las actividades humanas³. Se ha calculado que la tasa de extinción de especies durante el siglo pasado superó el nivel base por un factor de 100⁴. La pérdida de especies de plantas puede tener un impacto muy importante sobre el bienestar humano. La planificación de su conservación requiere información detallada sobre la distribución de cada especie, no solamente dentro del país donde se van a llevar a cabo las acciones de conservación, sino también a nivel global⁵. Hay evidencias de que la designación de especies amenazadas y las iniciativas para asegurar su conservación dentro de una red de áreas protegidas han actuado positivamente para contrarrestar la pérdida de biodiversidad a nivel mundial⁶. Aunque se ha realizado un análisis de vacíos para México, no se ha incorporado conocimiento de la distribución global de las especies de árboles amenazadas en este análisis. Los criterios de la UICN han sido considerados como el mejor método para evaluar el riesgo de extinción de especies. Sin embargo, hay dificultades en aplicar los criterios en forma rigurosa⁷. En ausencia de evidencias, una especie en peligro de extinción puede ser incorrectamente excluida de la lista roja. Al mismo tiempo, cuando los criterios han sido aplicados sin conocimiento sobre la distribución completa de una especie, hay un riesgo de inflar de forma artificial el número de especies incluidas en la Lista Roja de Especies Amenazadas, sobre todo cuando se trata de especies que se encuentran en su límite de distribución y se recurre a evaluadores con conocimiento experto de un solo país⁸. La UICN recomienda la aplicación del principio de precaución para asegurar una protección efectiva de las especies vulnerables. En algunas circunstancias, y en particular cuando los recursos disponibles para la conservación de las especies son limitados, la sobreestimación del grado de amenaza de las especies puede ser contraproducente para la conservación si resulta en una priorización errónea de las acciones a desarrollar⁹. La evaluación de especies de amplia distribución puede confirmar que su grado de amenaza es bajo. Este proyecto tendrá un impacto directo en la práctica de la conservación y puede tener beneficios económicos como resultado de la asignación de recursos en una forma más eficiente para asegurar la conservación de la biodiversidad a nivel nacional e internacional.

En México, el esfuerzo por conocer la distribución de las especies de árboles ha sido notable. Por ejemplo, en 2011, Golicher, Cayuela y Newton publicaron los resultados de una iniciativa de modelación de la distribución de 2000 especies de árboles en Mesoamérica, con el propósito de establecer las consecuencias del cambio climático sobre la riqueza de especies¹⁰. El trabajo estableció la viabilidad de usar los datos disponibles para modelar la distribución potencial de árboles, pero al mismo tiempo identificó varias limitaciones de los datos comúnmente usados en la construcción de modelos de distribución. Una de las debilidades surge como resultado de intentar modelar sólo una parte del rango de distribución de algunas de las especies. Cuando se utilizan fronteras geopolíticas a la hora de definir el área de estudio y la distribución de una especie que es más amplia que el área focal, los modelos no usan todos los datos disponibles. Esto puede arrojar resultados sesgados. El efecto es más marcado para especies en sus límites geográficos de distribución. Es conveniente, por tanto, incluir datos del rango entero de la

distribución de las especies en los modelos. Otro aspecto crítico, especialmente cuando se modela la distribución de las especies con datos sólo de ocurrencia (y no de ausencia), es la validación de los resultados¹¹. La mejor forma de validar modelos es con datos de parcelas exhaustivamente inventariadas, en las cuales se puede establecer no solamente la presencia de las especies sino también su ausencia. En este contexto, se impulsó hace dos años, el proyecto BIOTREE-NET (www.biotreenet.com), con objeto de compilar de forma sistemática información sobre la presencia, ausencia y, en la mayoría de los casos, abundancia, de árboles en el sur de México y Centroamérica. Esta información procede de inventarios forestales realizados por más de 40 investigadores de distintos países. Actualmente, BIOTREE-NET cuenta con información de más de 2100 inventarios repartidos por el sur de México, Belice, Nicaragua, Honduras, El Salvador, Costa Rica y Panamá¹². A través de esta iniciativa, se pretende mejorar la disponibilidad de datos sobre árboles en Centroamérica, estimulando así el intercambio de información y la colaboración entre científicos mexicanos, centroamericanos y europeos, y ayudando a maximizar el uso y la utilidad de los datos recogidos por investigadores de todo el mundo, con el consiguiente ahorro de esfuerzo material y humano que ello implica. BIOTREE-NET se ha consolidado en la actualidad como una plataforma de trabajo que pretende unificar en un marco común información biológica procedente de distintas fuentes (ya no sólo inventarios, sino también información de colectas procedente mayoritariamente del “Global Biodiversity Information Facility” (GBIF)) e información ambiental (en formato vectorial y raster), con vistas a facilitar el análisis de datos y la modelación de la distribución de las especies de árboles de Centroamérica. Los esfuerzos futuros de esta iniciativa se encaminan hacia la incorporación de datos procedentes de inventarios de países sudamericanos, como Colombia, Venezuela y Ecuador, con objeto de recoger información sobre el rango de distribución total de aquellas especies centroamericanas que también están presentes en Sudamérica. La definición de las metas de conservación de la biodiversidad para el 2020, establecidas en noviembre de 2010 en Tokyo por la CDB, el grupo GEO-BON (Group on Earth Observations – Biodiversity Observation Network) pretende incorporar los inventarios de diversidad arbórea como parte esencial del esfuerzo de evaluación y monitoreo. El proyecto BIOTREE-NET puede servir de modelo para aspectos muy importantes de esta iniciativa.

La propuesta actual tuvo la meta de unificar estos tres esfuerzos anteriores con el objetivo de aplicar técnicas de modelaje para establecer la distribución potencial y el área ocupada por especies de árboles mexicanos a lo largo de su rango de distribución total, y justificar las conclusiones sobre el nivel de amenaza de cada especie usando todas las evidencias disponibles hasta el momento.

Con base en lo anterior, el objetivo general de este proyecto fue: Establecer el riesgo de extinción asociado con la extensión de la distribución y el área ocupada de las especies de árboles presentes en la república Mexicana. Este objetivo general se cumpliría con el desarrollo de los siguientes Objetivos particulares:

1. Modelar la distribución actual y potencial de las especies de árboles presentes en México a lo largo de Norte, Centro y Sur América a una resolución de 5km x 5km.

2. Calcular la proporción de la distribución de cada especie que cae dentro del territorio nacional.
3. Evaluar el grado de amenaza de cada especie a lo largo de toda su área de distribución contra los criterios B1 y B2 de la lista roja de la UICN.
4. Identificar especies endémicas de México, especies en los límites de su distribución y especies con poblaciones disyuntas.
5. Modelar la distribución actual y potencial de las mismas especies dentro de México a una resolución de 1 km x 1 km.
6. Calcular la proporción del rango de distribución de cada especie considerada como amenazada que cae dentro de áreas naturales protegidas dentro de México.
7. Interpretar los resultados dentro del contexto de planificación de la conservación en México.

Por distintos motivos, el proyecto no cumplió los objetivos planteados en su totalidad. Se cumplió el primer objetivo y este informe se centra en explicar las decisiones metodológicas que se tomaron para generar los mapas de distribución potencial.

I. Desarrollo del proyecto

1. Calidad de Información

Se integró una base de datos con información proveniente de dos bases de datos, (1) Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<http://www.gbif.org/>) y (2) el Sistema Nacional de Información de Biodiversidad (SNIB) (<http://www.snib.mx/>). Se realizó el control de calidad de los datos utilizando el análisis de *outliers* con la distancia de Mahalanobis, lo que permitió eliminar datos dudosos. Como resultado del proceso se obtuvieron los registros que se utilizaron para generar los modelos.

Fuentes de datos

El proyecto se centró en especies de plantas consideradas como árboles bajo una definición basada en su forma de crecimiento. Se considera que una planta es un árbol si tiene crecimiento monopodial con altura por encima de los 4 m. En este proyecto se tomó como punto de partida la lista de especies de bosque mesófilo de montaña establecida por González-Espinosa et al. (2011)¹³, en conjunto con el listado preliminar de especies incluidas en el sistema de información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) de México. La meta del proyecto fue modelar la distribución del mayor número de especies posibles juntando estos dos listados y eliminando las especies repetidas o con serias dudas acerca de si su identidad taxonómica ha sido correctamente determinada. Nos enfrentamos al problema de disponibilidad de datos confiables respecto a la identidad taxonómica y la ubicación geográfica de los registros¹¹. Cuando se inició el proyecto, en el GBIF sólo había datos disponibles para 1941 de las 2004 especies del listado preliminar de especies incluidas en el sistema de información del INFyS, y sólo para 553 de estas especies se disponía de más de 50 datos de presencia a lo largo de todo su rango de distribución en Norte, Centro y Sudamérica. Por esta razón, nos pareció una meta razonable plantear como objetivo la modelación de la distribución de, por lo menos, entre el 50 y el 75% de las especies contenidas en estas dos listas.

Se buscaron datos de ocurrencia usando un rango extensivo de fuentes digitales: Sistema Nacional de Información de Biodiversidad de Conabio (SNIB) en conjunto con datos proporcionado por el GBIF y los datos de inventarios florísticos compilados por el proyecto BIOTREE-NET.

La lista de especies tentativa que se incluyó en el Convenio aparece en el archivo excel que acompaña este informe (Anexo).

Limpieza y control de calidad de datos

Los datos procedentes de las distintas fuentes fueron depurados antes de ser utilizados para la generación de modelos de distribución. Los pasos que seguimos fueron:

1. Los nombres de las especies fueron evaluados para buscar sinonimias cruzando el listado de especies con las listas de nombres contenidas en “The Plant List” (<http://www.theplantlist.org/>). Esta iniciativa de compilación impulsada por el Jardín Botánico de Kew, el Missouri Botanical Garden, ILDIS, the Global Compositae Checklist, el Jardín Botánico de Nueva York y the Plant Name Index, entre otros, supone hasta el momento la lista más completa de nombres de plantas que da información actualizada sobre el estado de aceptación de los nombres y sus sinonimias. Se utilizó un sistema de cruzamiento de información diseñado para la base de datos de BIOTREE-NET, y que todavía no está publicado: Este sistema permite, de forma automatizada, actualizar los nombres de las especies a sus versiones aceptadas; una vez que el listado de nombres está actualizado, también permite obtener los distintos sinónimos para cada nombre aceptado. El uso de dicho sistema de cruzamiento de información supone una gran ventaja a la hora de buscar información sobre la ocurrencia de especies en bases de datos como el GBIF, ya que se pueden buscar estos datos no sólo para el nombre aceptado, sino también para sus posibles sinónimos, aumentando así la cantidad de información disponible para la modelación y evaluación del grado de amenaza de las especies.
2. Los datos obtenidos de las distintas fuentes se revisaron con el propósito de eliminar registros repetidos. Además, se utilizó el manual de procedimientos de georeferenciación de localidades de colecciones biológicas confeccionado por la Conabio¹⁴ como referencia de prácticas de revisión de bases de datos y organización de la información.
3. Los datos se mapearon en el espacio geográfico y se visualizaron en el contexto de su relación con las variables climáticas y de elevación sobre el nivel del mar con el objeto de identificar errores obvios de georeferenciación.
4. Se cruzaron las coordenadas con una cobertura geográfica para confirmar que el país, y el nivel administrativo del sitio coincidía con los especificados para las coordenadas de cada registro.
5. Se identificaron los puntos en los márgenes de su distribución usando un algoritmo basado en la distancia de Mahalanobis. Estos puntos se evaluaron cuidadosamente por su calidad y consistencia con la literatura existente para la especie en cuestión. Adicionalmente, se contactó con investigadores de Ecuador, Colombia y Venezuela para resolver dudas sobre la distribución de especies con rangos de distribución que se extienden por Sudamérica. Cuando permanecieron dudas sobre un punto, éste fue excluido en la modelación, pero se guardó en la base de datos por si fuera necesario en futuros análisis y/o re-evaluaciones del grado de amenaza de la especie.

2. Criterio de Selección de la región de referencia (M)

Para definir la región a modelar (M), se utilizaron los registros de presencia de la especie y las Ecorregiones Terrestres de México¹⁵, Provincias biogeográficas de México¹⁶ y la Cobertura de vegetación potencial²⁷. La “M” quedó conformada por aquellas ecorregiones o provincias donde al menos ocurriera un registro de la especie.

3. Variables utilizadas en la modelación

Para generar el modelo se utilizaron 3 variables climáticas de Worldclim: BIO12 = Annual Precipitation, BIO1 = Annual Mean Temperature y BIO7 = Temperature Annual Range de (<https://www.worldclim.org/bioclim>); la variable Elevación del CIAT¹⁸ y la variable de Balance hídrico del suelo basado en un Modelo de cubeta¹⁹. Las variables climáticas se cortaron desde la mitad de Norteamérica (35° de latitud norte) hasta la mitad de Sudamérica (5° de latitud sur).

4. Método de modelación

Los modelos se generaron con el programa estadístico R, utilizando dos métodos: GAM (modelos aditivos generalizados), y RPART (Recursive partitioning and Regression Trees). Se seleccionó el que tuvo mejor desempeño, de acuerdo con los resultados del AUC de las curvas ROC. La resolución espacial de cada modelo fue de 5 km cuadrados por pixel, con un sistema de coordenadas geográficas.

En los modelos se usaron todos los datos de ocurrencia obtenidos a través de las fuentes citadas anteriormente (SNIB, GBIF) y fueron validados con los datos de los inventarios de BIOTREE-NET, cuando fue posible. Para construir los modelos se implementó un proceso semi-automatizado en R que produjo varios mapas y una tabla mostrando la importancia relativa de las variables usadas en la construcción del modelo en conjunto con una serie de figuras para ayudar en su interpretación.

5. Parámetros utilizados en la modelación

Los conjuntos de datos de cada especie fueron agregados espacialmente a una resolución de 5km x 5km. A partir de las capas raster de 'WorldClim' se definió una grilla con resolución de 5km x 5km conteniendo datos de latitud y longitud. Se extrajeron los valores correspondientes de latitud y longitud para cada dato, y se seleccionó, para cada especie, un dato único por cada celda independiente con información. Todas aquellas especies para las cuales se contaba con menos de 30 registros (i.e. gbif + snib) disponibles, fueron excluidas del proceso de modelación. De esta forma se aseguró un mínimo de datos para ajustar modelos.

Se evaluaron ocho variables predictivas:

1. Latitud (derivada de las coberturas de Worldclim)
2. Longitud (derivada de las coberturas de Worldclim)
3. Temperatura media anual (Worldclim)
4. Rango anual de temperatura (Worldclim)
5. Elevación (CIAT)
6. Precipitación anual (Worldclim)

7. Evapotranspiración actual anual (calculado a partir de un modelo dinámico de balance hídrico del suelo)
8. Balance hídrico del suelo (Déficit de agua calculado a partir de un modelo dinámico de balance hídrico del suelo)

Las variables finalmente utilizadas fueron seleccionadas por poseer propiedades contrastantes y presentan un grado de ortogonalidad considerable al ser analizadas a través del análisis de componentes principales (PCA). Éstas fueron: 3 variables climáticas de Worldclim, la variable Elevación del CIAT y la variable balance hídrico del suelo, previamente mencionadas.

Los modelos de distribución se ajustaron utilizando los siguientes algoritmos:

1. 'Generalised Additive Models' (GAM), usando el paquete mgsv de R
2. Recursive partitioning' (Rpart), usando el paquete rpart de R

6. Evaluación de modelos

Para validar el modelo se usaron registros independientes obtenidos de la Red Internacional de Inventarios Forestales BIOTREE-NET (<http://www.biotreenet.com/espanol/html/>).

Las predicciones de los modelos fueron representadas por una superficie ráster continua que se puede interpretar en términos de la probabilidad de ocurrencia de la especie. Este mapa se convirtió en una cobertura binaria usando un punto de corte determinado con referencia al área por debajo de la curva²⁰. Las predicciones obtenidas para cada especie a nivel global (a lo largo de Norte, Centro y Sur América) fueron representadas en mapas raster con una resolución de píxel de aproximadamente 5 km x 5 km.

Cuando no fue posible usar datos independientes procedentes de BIOTREE-NET se dividieron los datos en dos grupos, uno que fue usado para la construcción del modelo y el otro para la validación, y se calcularon los mismos índices. En este caso los índices fueron interpretados como mediciones del poder discriminatorio del modelo, pero no como una validación independiente.

II. Conclusiones y recomendaciones

El sistema automatizado diseñado para modelar la distribución de numerosas especies permitió generar modelos con muy buena precisión para algunas de ellas, y para otras fue necesario generar nuevos modelos de manera individual de tal forma de mejorar los resultados obtenidos.

El uso de variables puramente climáticas como precipitación anual, puede resultar inadecuado para representar la distribución de especies. Variables climáticas simples relacionadas con precipitación pueden no traducirse en reserva de agua para las plantas cuando no hay humedad acumulada en el suelo, subestimando la importancia del agua para las mismas; de la misma manera puede sobreestimar el estrés hídrico cuando no llueve pero sí hay humedad acumulada en el suelo. El balance hídrico del suelo calculado a nivel regional resultó ser un predictor valioso para entender diferencias en la distribución de especies con diferente grado de tolerancia a la sequía. Modelos con una perspectiva más mecanística, que incorporan procesos como el balance hídrico, representan de manera más adecuada la disponibilidad de agua en el suelo para las plantas y permiten obtener mejores predicciones de su distribución.

III. Referencias

1. Kreft, H. & Jetz, W. Global patterns and determinants of vascular plant diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **104**, 5925-30 (2007).
2. Dirzo, R. & Raven, P.H. Global state of biodiversity and loss. *Annual Review Of Environment And Resources* **28**, 137-167 (2003).
3. Schatz, G.E. Plants on the IUCN Red List: setting priorities to inform conservation. *Trends in plant science* **14**, 638-42 (2009).
4. May, R.M. Ecological science and tomorrow's world. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* **365**, 41-7 (2010).
5. Pressey, R.L., Cabeza, M., Watts, M.E., Cowling, R.M. & Wilson, K. a Conservation planning in a changing world. *Trends in ecology & evolution (Personal edition)* **22**, 583-92 (2007).
6. Brooks, T.M., Wright, S.J. & Sheil, D. Evaluating the Success of Conservation Actions in Safeguarding Tropical Forest Biodiversity. *Conservation Biology* **23**, 1448-1457 (2009).
7. Newton, A.C. & Oldfield, S. Red Listing the world's tree species: a review of recent progress. *Endangered Species Research* **6**, 137-147 (2008).
8. Abeli, T., Gentili, R., Rossi, G., Bedini, G. & Foggi, B. Can the IUCN criteria be effectively applied to peripheral isolated plant populations? *Biodiversity and Conservation* **18**, 3877-3890 (2009).
9. Godfrey, M. & Godley, B. Seeing past the red: flawed IUCN global listings for sea turtles. *Endangered Species Research* **6**, 155-159 (2008).
10. Golicher, D.J., Cayuela, L. & Newton, A.C. Effects of climate change on the potential species richness of Meso-American forests. *Biotropica* **44**, 284-293 (2012).
11. Cayuela, L. et al. Species distribution modeling in the tropics: problems, potentialities, and the role of biological data for effective species conservation. *Tropical Conservation Science* **2**, 319-352 (2009).
12. Cayuela, L. et al. The Tree Biodiversity Network (BIOTREE-NET): Prospects for biodiversity research and conservation in the Neotropics. *Biodiversity and Ecology* **4**, 211-224 (2012).
13. González-Espinosa, M. et al. The Red List of Mexican Cloud Forest Trees. Fauna & Flora International, Cambridge, UK. (2011).
14. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Georreferenciación de localidades de colecciones biológicas. Manual de procedimientos. México, D.F. (2008).
15. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) -Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) - Instituto Nacional de Ecología (INE). Ecorregiones terrestres de México. (2008).
16. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Provincias biogeográficas de México. (1997).
17. Ramankutty, N. & Foley, J.A. Estimating historical changes in land cover: North American croplands from 1850 to 1992. *Global Ecology and Biogeography* **8**: 381-396. (1999).
18. Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson, A. & Guevara, E. Hole-filled SRTM for the globe Version 4. (2008). The CGIAR-CSI SRTM 90m Database (<http://srtm.csi.cgiar.org>)
19. Vaca, R.A. & Golicher, D.J. Integración del balance hídrico en la modelación de la distribución de especies de árboles mexicanos. *Botanical Sciences* **94**, 25-42 (2016).

20. Jiménez-Valverde, A. Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography* **21**, 498–507 (2012).