

La Red Internacional de Inventarios Forestales (BIOTREE-NET) en Mesoamérica: avances, retos y perspectivas futuras

L. Cayuela¹, L. Gálvez-Bravo², F.S. de Albuquerque³, D.J. Golicher^{4,5}, M. González-Espinosa⁴, N. Ramírez-Marcial⁴, J.M. Rey Benayas⁶, R.A. Zahawi⁷, J.A. Meave⁸, B.M. Benito³, C. Garibaldi⁹, I. Chan⁵, R. Pérez Pérez³, R. Field^{10,43}, P. Balvanera¹¹, M.A. Castillo⁴, B.L. Figueroa-Rangel¹², D.M. Griffith¹³, G.A. Islebe¹⁴, D.L. Kelly^{15,43}, M. Olvera-Vargas¹², S.A. Schnitzer^{16,32}, E. Velazquez¹⁷, G. Williams-Linera¹⁸, S.W. Brewer¹⁹, A. Camacho-Cruz²⁰, I. Coronado²¹, B. de Jong²², R. del Castillo²³, I. Granzow-de la Cerda²⁴, J. Fernández²⁵, W. Fonseca²⁶, L. Galindo-Jaimes²⁰, T.W. Gillespie²⁷, B. González-Rivas²⁸, J.E. Gordon²⁹, J. Hurtado³⁰, J. Linares³¹, S.G. Letcher³³, S.A. Mangan¹⁶, V.E. Méndez³⁴, V. Meza³⁵, S. Ochoa-Gaona²², C.J. Peterson³⁶, V. Ruiz-Gutierrez³⁷, K.A. Snarr³⁸, F. Tun Dzul³⁹, M. Valdez-Hernández¹⁴, K.M. Viergever⁴⁰, D.A. White⁴¹, J.N. Williams⁴², F.J. Bonet³, R. Zamora³

- (1) Área de Biodiversidad y Conservación, Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología (E.S.C.E.T.), Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles, E-28933, España.
- (2) Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos (IREC-CSIC-UCLM-JCCM), Ronda de Toledo s/n, E-13071 Ciudad Real, España.
- (3) EcoLab, Departamento de Ecología, Centro Andaluz de Medio Ambiente, Universidad de Granada - Junta de Andalucía, Avda. del Mediterráneo s/n, E-18006 Granada, España.
- (4) El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, San Cristóbal de las Casas, CP 29290, Chiapas, México.
- (5) School of Conservation Sciences, Bournemouth University, Talbot Campus, Poole, Dorset BH12 5BB, Reino Unido.
- (6) Departamento de Ecología. Universidad de Alcalá, 28871. Alcalá de Henares. Madrid. España
- (7) Las Cruces Biological Station & Wilson Botanical Garden, Organization for Tropical Studies. Apdo 73-8257, San Vito de Coto Brus, Costa Rica.
- (8) Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad 3000, Circuito Exterior s/n, 04510 México, Distrito Federal, México.
- (9) Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá, Panamá, República de Panamá.
- (10) School of Geography, University of Nottingham, University Park, Nottingham NG7 2RD, Reino Unido.
- (11) Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Apdo. Postal 27-3, Morelia, Michoacán 58090, México.
- (12) Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Apartado Postal 108. C.P. 48900 Autlán de la Grana, Jalisco, México.
- (13) Biodiversity of Bosawas Project (Nicaragua), Saint Louis Zoo, St. Louis, Missouri, EUA.
- (14) El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, Herbario, Avenida Centenario Km 5.5, Chetumal, Quintana Roo, México.
- (15) Department of Botany, School of Natural Sciences, Trinity College, University of Dublin, Dublin 2, República de Irlanda.
- (16) Department of Biological Sciences, University of Wisconsin – Milwaukee, PO Box 413 Milwaukee WI 53201, EEUU.
- (17) Department of Ecological Modelling Helmholtz Centre for Environmental Research-UFZ Permoserstr. 15, 04318 Leipzig, Alemania.
- (18) Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología A.C., Carretera antigua a Coatepec No. 351. Xalapa, Veracruz, C.P. 91070, México.
- (19) Belize Foundation for Research & Environmental Education, PO Box 129, Punta Gorda, Belice.
- (20) Biodiversidad: Conservación y Restauración, A.C, Tapachula # 17, El Cerrillo, San Cristóbal de Las Casas, CP 29220, Chiapas, México.
- (21) Missouri Botanical Garden, P.O. Box 299 St. Louis, Missouri 63166-0299, EEUU.
- (22) El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa, Apartado postal 1042, Villahermosa, Tabasco, CP 86100, México.
- (23) CIIDIR Oaxaca, IPN, Hornos 1003, Xoxocotlán, Oaxaca, CP 71230, México.
- (24) University Herbarium and Dept. of Ecology and Evolutionary Biology, University of Michigan, 3600 Varsity Dr., Ann Arbor, MI 48108-2228, EEUU.
- (25) School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, 205 Prospect Street, New Haven, CT 06511, EEUU.
- (26) Escuela de Ciencias Ambientales. (EDECA), Universidad Nacional de Costa Rica. Campus Omar Dengo. Apdo. 86-3000 Heredia, Costa Rica.
- (27) Department of Geography, 1255 Bunche Hall, Los Angeles, CA 90095-1524, EEUU.
- (28) Departamento de Manejo de Bosques y Ecosistemas, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- (29) Knowledge Management Officer, LLS, Forest Conservation Programme, IUCN, Rue Mauverney 28, CH-1196 Gland, Suiza.
- (30) Organization for Tropical Studies, Apartado 676-2050, San Pedro, Costa Rica.
- (31) Herbario Paul C. Standley, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, P.O. Box 93, Tegucigalpa, Honduras.
- (32) Smithsonian Tropical Research Institute, Apartado 2072, Balboa, República de Panamá.
- (33) Department of Environmental Studies, Policy and Management, Ecosystem Sciences Division, 151 Hilgard Hall, University of California, Berkeley, CA 94720-3110. EEUU.
- (34) Environmental Program/Department of Plant & Soil Science, The Bittersweet- 153 South Prospect St., University of Vermont, Burlington, Vermont

05401, EEUU.

(35) Instituto de Investigación y Servicios Forestales. Universidad Nacional de Costa Rica. Campus Omar Dengo. Apdo. 86-3000. Heredia, Costa Rica.

(36) Dept. of Plant Biology, University of Georgia, 2502 Plant Science Building, Athens, GA 30602, EEUU.

(37) Neotropical Conservation Initiative, Cornell Lab of Ornithology, 159 Sapsucker Woods Rd, Ithaca, NY 14850, EEUU.

(38) Anthropology/Centre for Environment, University of Toronto, 33 Willcocks, Street, Toronto, Ontario M5S 3E8, Canadá.

(39) Laboratorio de SIG, Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, C-43 # 130 Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, Mexico.

(40) Ecometrica, Top Floor, Unit 3B, Kittle Yards, Edinburgh, EH9 1PJ, Reino Unido.

(41) Department of Biological Sciences, Loyola University, New Orleans, LA 70118, EEUU.

(42) Department of Environmental Science and Policy, University of California, One Shields Avenue, Davis, CA 95616, EEUU.

(43) Operation Wallacea, Hope House, Old Bolingbroke, Lincolnshire, PE23 4EX, Reino Unido.

➤ Recibido el 5 de junio de 2012, aceptado el 18 de junio de 2012.

Cayuela, L., Gálvez-Bravo, L., Albuquerque, F.S., Golicher, D.J., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Rey Benayas, J.M., Zahawi, R.A., Meave, J.A. et al. (2012). La Red Internacional de Inventarios Forestales (BIOTREE-NET) en Mesoamérica: avances, retos y perspectivas futuras. *Ecosistemas* 21(1-2): 126-135.

Los esfuerzos de conservación en la región neotropical están limitados por la falta de información disponible sobre las especies, ya que muchas no han sido descritas o se tiene poca información sobre ellas. La Red Internacional de Inventarios Forestales (BIOTREE-NET) concentra y facilita el acceso a la información y el intercambio entre investigadores, gestores y conservacionistas, organizando y estandarizando los datos de especies de árboles procedentes de inventarios forestales en la región mesoamericana en una única base de datos que incluya información espacial. Este artículo explica el ámbito y objetivos de la red, describe la estructura de la base de datos e identifica los principales avances realizados, así como los retos y perspectivas futuras.

La base de datos contiene más de 50 000 registros de árboles de unas 5000 especies, distribuidas en más de 2000 parcelas muestreadas desde el suroeste de México hasta Panamá. La información es heterogénea, tanto en su naturaleza y forma como en la cobertura geográfica de los inventarios. La base de datos tiene una estructura relacional, con 12 tablas interconectadas, incluyendo información sobre las parcelas, los nombres de las especies, el diámetro a la altura del pecho de los árboles medidos y sus atributos funcionales.

Se ha desarrollado un sistema para la corrección de errores tipográficos y la estandarización taxonómica y nomenclatural utilizando como referencia The Plant List (<http://theplantlist.org/>). También se han generado modelos de distribución potencial para cerca de 1700 especies utilizando distintos métodos y en el futuro se prevé habilitar también el acceso público a los modelos de distribución de especies a través del portal web (<http://portal.biotreenet.com>).

Aunque BIOTREE-NET ha contribuido al desarrollo de mejores modelos de distribución, su mayor potencial radica, en nuestra opinión, en el estudio a nivel de comunidades. Finalmente, se reconoce la necesidad de expandir la red a través de la participación de más investigadores interesados en colaborar con datos para ampliar el conocimiento sobre la biodiversidad forestal en la región neotropical.

Palabras clave: acceso a la información, bases relacionales, intercambio de datos, modelos de distribución de especies, neotrópico.

Cayuela, L., Gálvez-Bravo, L., Albuquerque, F.S., Golicher, D.J., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Rey Benayas, J.M., Zahawi, R.A., Meave, J.A. et al. (2012). The International Network of Forest Inventory Plots (BIOTREE-NET) in Mesoamerica: advances, challenges and future perspectives. *Ecosistemas* 21(1-2): 126-135.

Conservation efforts in Neotropical regions are often hindered by lack of data, since for many species there is a vacuum of information, and many species have not even been described yet. The International Network of Forest Inventory Plots (BIOTREE-NET) gathers and facilitates access to tree data from forest inventory plots in Mesoamerica, while encouraging data exchange between researchers, managers and conservationists. The information is organised and standardised into a single database that includes spatially explicit data. This article describes the scope and objectives of the network, its progress, and the challenges and future perspectives.

The database includes above 50 000 tree records of over 5000 species from more than 2000 plots distributed from southern Mexico through to Panama. Information is heterogeneous, both in nature and shape, as well as in the geographical coverage of inventory plots. The database has a relational structure, with 12 inter-connected tables that include information about plots, species names, dbh, and functional attributes of trees.

A new system that corrects typographical errors and achieves taxonomic and nomenclatural standardization was developed using The Plant List (<http://theplantlist.org/>) as reference. Species distribution models have been computed for around 1700 species using different methods, and they will be publicly accessible through the web site in the future (<http://portal.biotreenet.com>).

Although BIOTREE-NET has contributed to the development of improved species distribution models, its main potential lies, in our opinion, in studies at the community level. Finally, we emphasise the need to expand the network and encourage researchers willing to share data and to join the network and contribute to the generation of further knowledge about forest biodiversity in Neotropical regions.

Keywords: access to information, relational database, data sharing, species distribution modelling, Neotropic.

Introducción

Las regiones tropicales constituyen una de las mayores reservas de biodiversidad a escala mundial (Myers et al. 2000; Dirzo y Raven 2003; Funk y Fa 2010) y están entre las más afectadas por problemas de pérdida de hábitat y degradación ambiental (Laurance 1999; Brooks et al. 2002; Sodhi et al. 2004; Wright y Muller-Landau 2006). Sin embargo, uno de los principales problemas a los que se enfrenta la conservación en las regiones tropicales es la falta de datos sobre presencia y composición de especies (Myers et al. 2000; Brooks et al. 2001; Olson y Dinerstein 2002; Funk et al. 2005). Por un lado, se sabe que muchas especies no han sido descritas aún (Brown y Lomolino 1998), mientras que para muchas de las descritas faltan datos esenciales sobre su distribución a escalas regional y local (Lomolino 2004).

Algunas iniciativas a escala global, como el *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, www.gbif.org), han facilitado la compilación de millones de registros sobre presencia de especies procedentes fundamentalmente de colecciones de museos y herbarios (Yesson et al. 2007). Sin embargo, una gran parte de la información contenida en el GBIF corresponde a países desarrollados, mientras que persisten importantes lagunas en la información para países en vías de desarrollo, especialmente en la región neotropical (Cayuela et al. 2009). La efectividad y utilidad de estas iniciativas globales se ven reforzadas y complementadas con repositorios y bancos de datos más específicos, centrados en una sola región o grupo taxonómico.

Con este fin se han desarrollado varias iniciativas en la región neotropical que facilitan el acceso a la información y el intercambio de datos entre investigadores, conservacionistas y otros grupos de interés. Una de las iniciativas más ambiciosas es la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR, http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/indice_esp.html; Malhi et al. 2002), que lleva cerca de una década recopilando información de parcelas forestales permanentes en la cuenca del Amazonas, lo que ha permitido avanzar considerablemente en el conocimiento sobre el funcionamiento del ciclo del carbono y la dinámica de mortalidad y reclutamiento en los bosques amazónicos (Lopez-Gonzalez y Phillips 2012). Lamentablemente, para la región mesoamericana no se había realizado hasta el momento ningún esfuerzo de sistematización de la información procedente de inventarios forestales. Aunque existen varias iniciativas nacionales, como por ejemplo el *Biodiversity and Environmental Resource Database System* (BERDS) de Belice (<http://www.biodiversity.bz/>), muchas de ellas operan descoordinadamente y aún se encuentran en proceso de consolidación e integración.

En respuesta a esta necesidad surge en 2009 la Red Internacional de Inventarios Forestales (BIOTREE-NET, <http://www.biotreenet.com>), una iniciativa internacional cuyo objetivo principal es almacenar datos procedentes de inventarios forestales en Mesoamérica de una manera estructurada y estandarizada, incluyendo información espacial. La red pretende, en última instancia, hacer accesible información ya existente -y muchas veces ni siquiera publicada- para dar respuesta a preguntas de interés para la conservación de los bosques tropicales mesoamericanos y la investigación a escala macroecológica, centrándose fundamentalmente en los patrones de distribución de especies y la riqueza y composición de las comunidades de plantas leñosas, fundamentalmente árboles.

El objetivo de este artículo es explicar el ámbito y los objetivos de la red BIOTREE-NET, describir la estructura de la base de datos e identificar los principales avances, así como los retos y las perspectivas futuras de la misma.

Ámbito y objetivos de la red

BIOTREE-NET incluye información sobre árboles y, eventualmente, sobre lianas y otras especies leñosas, de una gama amplia de bosques tropicales, incluyendo bosques primarios y secundarios, desde el suroeste de México hasta la República de Panamá inclusive (**Fig. 1**). En el futuro se pretende ampliar la red para incluir información procedente de países de Sudamérica, con el objetivo de conseguir información más precisa sobre el área de distribución completa para el mayor número posible de las especies de árboles neotropicales.

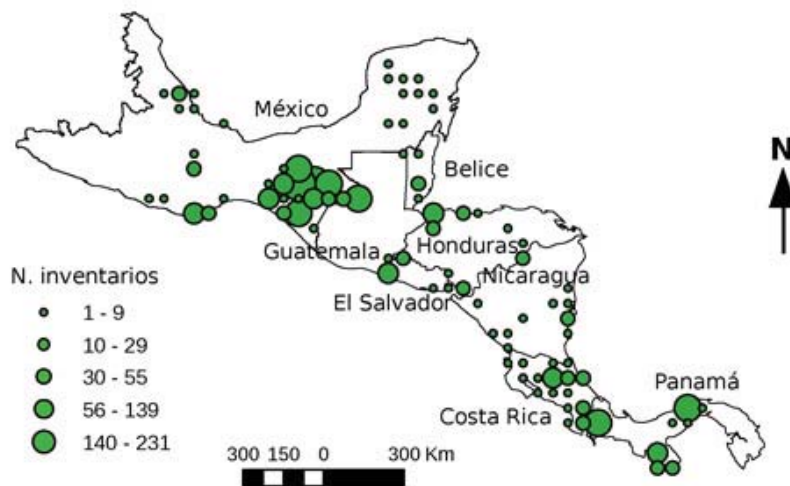


Figura 1. Distribución de los inventarios de BIOTREE-NET, agregados en celdas de 50x50 km, en Mesoamérica. El sur de México incluye los estados de Jalisco, Veracruz, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán, Quintana Roo.

La red se centra en las especies arbóreas debido a que constituyen una parte significativa de la biomasa de los ecosistemas terrestres (Nic Lughadha et al. 2005) y por su gran relevancia para la conservación a escala global y especialmente en los trópicos. Además, los árboles son fuente de hábitat, refugio y alimento para otras especies (por ejemplo insectos, Novotny et al. 2006), y proporcionan soporte estructural para otras formas de vida, como los epífitos (Sporn et al. 2010), las lianas (Dewalt et al. 2000) y los hongos (Zhao et al. 2003). Su gran tamaño y naturaleza sésil los hace más fáciles de estudiar que grupos de organismos más evasivos, por lo que hay una mayor cantidad de información disponible sobre árboles en regiones tropicales, en comparación con otros grupos taxonómicos como insectos, hongos o plantas herbáceas.

Una de las principales motivaciones de BIOTREE-NET fue facilitar el acceso a la información y el intercambio de datos entre investigadores, gestores y conservacionistas. Los objetivos específicos de la red son: (1) recopilar la información existente sobre diversidad de árboles de Mesoamérica y hacerla accesible a la comunidad científica; (2) integrar, estandarizar y organizar los datos obtenidos mediante inventarios forestales, facilitando los metadatos relevantes; (3) proporcionar a los usuarios herramientas de análisis de datos y modelización, incluyendo modelos de distribución de especies; (4) conectar los registros espaciales de cada árbol con información actualizada sobre atributos funcionales; (5) identificar lagunas en el conocimiento actual de la distribución de las especies arbóreas en la región y formular propuestas de investigación dirigidas a completarlas; y (6) contribuir a los programas de intercambio de datos sobre biodiversidad a nivel global con datos bien estructurados y exhaustivos.

BIOTREE-NET contiene información muy heterogénea en lo que respecta a protocolos de muestreo, inclusión de solamente árboles o de árboles y lianas, datos de abundancia o presencia-ausencia, información sobre el área basimétrica de los individuos de una parcela o muestreos repetidos en el tiempo (Cayuela et al. 2011). No sólo los datos de inventarios forestales varían en su naturaleza, forma y extensión, sino que la cobertura geográfica de los datos es, por el momento, bastante irregular (**Fig. 1**); así cerca del 65% de los inventarios se encuentran en el sur de México, particularmente en el estado de Chiapas. Algunos países tienen una representación relativamente buena de inventarios, tanto en número como en cobertura geográfica, como son Costa Rica (10% de los inventarios) o Panamá (10%). Otros no tanto, como son Honduras (7%), El Salvador (3%), Belice (2%) o Nicaragua (2%). De Guatemala no hay todavía ningún inventario representado en la base de datos, aunque se espera incluir próximamente la información de inventarios realizados en bosque de niebla en el Cerro El Amay, en la región del Quiché (L. Merino, datos no publicados).

Esta heterogeneidad en los datos tiene su origen en la naturaleza y estructura de la red, que aprovecha la información ya existente, ya que de momento no tiene capacidad para promover la realización de nuevos inventarios de campo establecidos bajo protocolos comunes. Esto tiene, sin duda, ventajas y desventajas. La principal ventaja es en términos de ahorro de tiempo y costes asociados a la realización de nuevos inventarios. La principal desventaja son las limitaciones de la propia información: BIOTREE-NET apenas contiene parcelas remuestreadas en el tiempo de forma sistemática como las que existen en la red RAINFOR (Lopez-Gonzalez y Phillips 2012), y menos de un 10% de los inventarios contienen medidas estructurales de los árboles (por ejemplo, diámetro a la altura del pecho), que imposibilitan abordar cuestiones relacionadas con la captura de carbono o la dinámica temporal de los bosques. La variedad en los tamaños y formas de los inventarios también dificulta el análisis de los datos a escala de comunidad. Para solventar estos problemas será necesario desarrollar nuevas metodologías que permitan analizar muestras de distinto tamaño a escalas diferentes.

Descripción de la base de datos relacional

La red BIOTREE-NET está estructurada sobre una base relacional que incluye 12 tablas principales (Cayuela et al. 2011) y otras adicionales que incorporan información procedente de otras fuentes, como por ejemplo los datos existentes en el GBIF para las especies registradas en los inventarios. Cada tabla contiene información distinta sobre las parcelas, los nombres de las especies, las medidas del diámetro a la altura del pecho (DAP) y los atributos funcionales de las especies, aunque no todos los datos están disponibles para cada parcela. La información mínima necesaria para la inclusión de una parcela en la base de datos es la lista de especies encontrada en la misma. No obstante, los datos sobre la abundancia de cada especie están disponibles en algo más del 90% de los inventarios. Actualmente la base de datos cuenta con más de 2020 parcelas, la mayor parte de ellas (82.4%) con un tamaño comprendido entre 0.01 y 0.1 hectáreas, y unos 50 000 registros de alrededor de 5000 especies (230 de ellas incluidas en la Lista Roja de la IUCN), si bien cerca del 40% de estas son morfoespecies (es decir, están identificadas según caracteres morfológicos, como mucho, a nivel de género o familia).

Además, la red pretende incluir información sobre los atributos funcionales de cada especie, para que cada registro georreferenciado cuente con una conexión a otra tabla con información sobre atributos como el hábitat, el nivel de endemismo, el tamaño de la hoja y el modo de dispersión, entre otros. Actualmente se dispone de esta información para cerca de 300 especies, pero se espera recopilar estos datos para un mayor número de especies en el futuro próximo.

Avances técnicos y científicos

Estandarización taxonómica

Existe una problemática subyacente a los datos de inventarios que es la variabilidad taxonómica debida al conocimiento botánico todavía deficiente para muchas regiones, al uso de distintos sistemas de referencia para identificar los taxa y la ortografía de los nombres, al uso de distintos sistemas de referencia y los cambios frecuentes en nomenclatura. Por lo tanto, uno de los principales retos que surgieron durante el desarrollo de BIOTREE-NET fue el de la estandarización taxonómica. Esto es importante ya que la aparición de sinónimos tiende a inflar las estimaciones de riqueza de especies (Isaac et al. 2004), además de incorporar sesgos espaciales a la hora de estimar el área de distribución de las especies.

Por todo ello se ha desarrollado un sistema para la corrección de errores tipográficos, y la estandarización taxonómica y nomenclatural, que utiliza como referencia *The Plant List* (<http://www.theplantlist.org/>). La herramienta utilizada para la estandarización taxonómica está disponible en R (<http://cran.r-project.org/web/packages/Taxonstand/index.html>, Cayuela 2012) y los detalles del procedimiento se pueden consultar en Cayuela et al. (2012). Mediante la aplicación de este procedimiento automatizado fue posible corregir errores tipográficos en unas 300 especies y se identificaron 571 sinónimos que fueron reemplazados por las actuales formas aceptadas.

Modelos de distribución de especies

La semilla que originó el proceso de compilación de información procedente de inventarios forestales en Mesoamérica, y que más tarde dio lugar a la red BIOTREE-NET, fue el reconocimiento de que, como ecólogos y biólogos de la conservación, aún carecíamos de la información más básica sobre la biología de muchas especies de árboles y, en particular, de su área de distribución. El uso de modelos de distribución de especies (sensu Guisan y Zimmermann 2000) ofrece un atajo para suplir esta carencia de conocimiento. Por tanto, uno de los objetivos fundamentales de BIOTREE-NET es facilitar el desarrollo de modelos de distribución de especies que contribuyan al conocimiento y conservación de los árboles en Mesoamérica.

Algunos de los problemas que hemos encontrado para generar los modelos de distribución derivan de la propia naturaleza de los datos. Los datos de presencia de especies más habitualmente utilizados para alimentar estos modelos proceden de ejemplares depositados en los herbarios, pero estos datos no contienen información explícita sobre las áreas de ausencia de las especies. La falta de datos de ausencia impide conocer el área de distribución realizada de una especie (la expresión espacial de su nicho realizado; Jiménez-Valverde et al. 2008), y dificulta una validación robusta de los resultados que ofrecen los modelos al no ser posible evaluar el error de comisión de los modelos (Lobo et al. 2008; Golicher et al., 2012). En este contexto, se planteó el proceso de recopilación de información procedente de inventarios como una forma de obtener datos más completos para la modelación de las áreas de distribución de las especies, al contener información explícita sobre presencias y ausencias para un amplio conjunto de especies.

Al día de hoy, el volumen de información procedente de datos de herbario fácilmente accesibles a través del *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) sigue siendo considerablemente mayor que la información procedente de los inventarios incluidos en BIOTREE-NET, tanto en número de registros como en cobertura geográfica (**Fig. 2**). Por lo tanto, optamos por utilizar esta información para la generación de los modelos y mantener los datos de los inventarios para realizar

su validación. Para todas las especies presentes en BIOTREE-NET descargamos todos los registros disponibles en GBIF para toda América, los ajustamos a una resolución espacial de 5 minutos (celdas de aproximadamente 10 x 10 kilómetros), eliminamos registros duplicados y seleccionamos aquellas especies con más de 30 puntos de presencia. Como resultado obtuvimos datos aptos para generar modelos de unas 1700 especies. La modelación se realizó para toda el área de distribución de las especies, si bien los modelos resultantes se cortaron para restringirlos al área de Mesoamérica para su posterior evaluación y análisis.

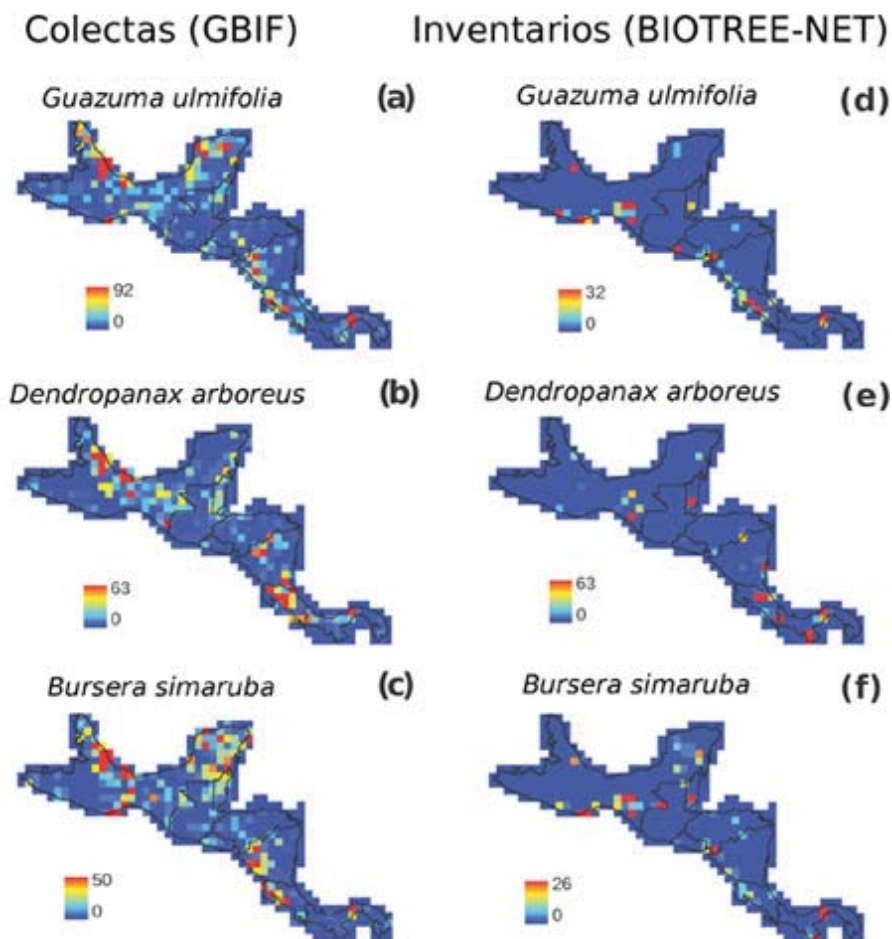


Figura 2. Número de datos, agrupados en celdas de 50x50 km, disponibles para distintas especies de árboles (*Guazuma ulmifolia*, *Dendropanax arboreus*, *Bursera simaruba*) procedentes del GBIF (mayoritariamente colectas; **a-c**) y de la Red de Inventarios Forestales BIOTREE-NET (**d-f**). Se observa que el volumen de información procedente de los datos de herbarios sigue siendo considerablemente mayor que la información contenida en BIOTREE-NET.

En cuanto a las técnicas de modelación utilizadas, se probaron varios algoritmos: distancias ecológicas (distancia de Chebyshev, distancia euclídeana, distancia de Manhattan, distancia de Mahalanobis), modelos basados en aprendizaje artificial (árboles de regresión, MaxEnt, redes neuronales, bosques aleatorios, máquinas de vectores de soporte), métodos de regresión (GLM, GAM y MARS), así como varios ensambles de grupos de modelos. En lugar de utilizar una técnica única de modelación para todas las especies se optó por elegir el modelo que mejor se ajustara a los datos de cada especie, usando como medida de comparación el área bajo la curva (AUC). Todos estos modelos están disponibles en la base de datos de BIOTREE-NET y en el futuro se habilitará su acceso público a través del portal de datos de la red (<http://portal.biotreenet.com>).

La validación utilizando datos de inventarios con presencias y ausencias explícitas sólo fue posible para cerca de 300 especies. Para el resto de los modelos, a falta de datos suficientes de inventarios, se utilizó la técnica de validación cruzada, separando el conjunto de datos de presencia (GBIF + BIOTREE) en dos grupos: 70% para generar los modelos, y 30% para validarlos. Aunque esta no es una validación totalmente independiente (ver Cayuela et al. 2009), permite por lo menos estimar una medida de cómo se ajusta cada modelo a los datos.

Portal de datos

Dado que uno de los objetivos más importantes de BIOTREE-NET es hacer los datos accesibles a la comunidad científica y al público en general, se ha desarrollado un portal de datos de acceso libre (<http://portal.biotreenet.com>). Con esta aplicación, los usuarios tienen acceso a una serie de servicios que les permiten visualizar los datos de presencia de las especies registradas en los inventarios de la red, así como los inventarios que hay en un país, ecorregión o tipo de bosque concreto y, previo registro, descargar esos datos si así se desea. En un futuro próximo se ampliará la funcionalidad del portal de datos para permitir la visualización y descarga de los modelos de distribución potencial de las especies en formato gráfico y vectorial.

Retos y perspectivas futuras

La generación de modelos de distribución de especies permite abordar otras cuestiones interesantes relacionadas con la distribución de los patrones de riqueza de especies y de diversidad beta (es decir, el solapamiento o reemplazo de especies en lugares próximos). Más allá de explorar espacialmente la distribución de dichos patrones, que ya de por sí aportan información relevante para la priorización de áreas para la conservación y restauración forestal, puede ser interesante investigar qué factores climáticos y antrópicos los determinan, evaluar si la red actual de espacios naturales protegidos recoge los sitios de mayor riqueza y diversidad beta o, si por el contrario, existen regiones de alto valor para la conservación que no están protegidas, e incluso sugerir corredores biológicos que conecten áreas de gran diversidad biológica dentro y entre ecorregiones.

Si bien BIOTREE-NET ha contribuido al desarrollo de mejores modelos de distribución potencial de especies con respecto a los que se obtenían anteriormente utilizando únicamente datos del GBIF procedentes en su mayor parte de colectas de herbario (solo presencia), el mayor potencial de los datos de BIOTREE-NET está, en nuestra opinión, en el estudio a nivel de comunidades. Cada inventario representa una muestra de una comunidad de plantas, por lo que pueden servir de referente para caracterizar la diversidad local. El conjunto de inventarios puede utilizarse para estudiar la respuesta de las comunidades a gradientes ambientales, clasificar las comunidades e investigar el grado de homogeneidad florística de las ecorregiones, entre otras aplicaciones.

La principal desventaja se afronta en el análisis de los datos, al trabajar con información que ha sido obtenida con distintos esfuerzos de muestreo, si bien esta limitación puede solventarse parcialmente mediante el desarrollo de metodologías específicas. En el caso del estudio de comunidades, por ejemplo, se está desarrollando un método que permitirá aplicar técnicas de rarefacción -típicamente usadas para comparar la riqueza y la diversidad entre muestras de distinto tamaño- en métodos multivariantes utilizados para el análisis de comunidades ecológicas (L. Cayuela, datos no publicados).

Los patrones de distribución de diversidad funcional y la respuesta diferencial de las especies a determinados procesos -como la fragmentación- en función de atributos funcionales específicos, son temas de gran interés que podrían abordarse con los datos de BIOTREE-NET. Por ello es importante completar la información sobre atributos morfológicos, funcionales y fenológicos para el mayor número de especies posible. Una aproximación prometedora sería buscar mecanismos de interacción con otros repositorios de información que ya hayan hecho el esfuerzo de recopilación de estos datos (por ejemplo TRY, <http://www.try-db.org/>).

Finalmente, es importante recordar que BIOTREE-NET pretende ser una red viva y dinámica. Por ello, un objetivo prioritario sigue siendo la obtención de datos representativos de todos los países que engloba la red, aunque inevitablemente algunos están mejor representados que otros. Conseguir contactar con investigadores locales de cada región o que hayan trabajado en distintas zonas de Mesoamérica no es tarea fácil, aunque afortunadamente cada vez son más los investigadores que aportan datos y se prestan al intercambio de los mismos, contribuyendo a la expansión de la red. Aunque existen algunas redes nacionales o locales que podrían unirse a esta iniciativa, muchos investigadores todavía necesitan vencer su reticencia a compartir sus datos y hacerlos públicos, aunque por suerte, el compartir datos o "*data sharing*" está generalizándose cada vez más dentro de la comunidad científica (Torres-Salinas et al. 2012).

La sostenibilidad de la red a largo plazo requiere también el desarrollo de aplicaciones que permitan a los investigadores actualizar y gestionar sus datos, automatizar el proceso de estandarización taxonómica de forma periódica y generar herramientas que faciliten el análisis de los datos. La capacitación de los investigadores para acceder, utilizar y comprender el funcionamiento de bases de datos también es un reto que habrá que afrontar en el mediano y largo plazos.

Opciones de contribución

Los datos de BIOTREE-NET están protegidos por una licencia CC (*Creative Commons*) que permite su acceso público y su uso con fines científicos y no comerciales, siempre y cuando se reconozca la fuente de los datos y se informe a los propietarios intelectuales de los mismos acerca del uso pretendido. El objetivo final es ofrecer la oportunidad de colaborar en estudios y artículos científicos, promoviendo así el desarrollo científico en los países mesoamericanos, el intercambio de conocimientos y actividades, y el avance en cuestiones científicas en general. A día de hoy, más de 40 investigadores procedentes de 11 países han contribuido con datos a esta iniciativa.

Cualquier persona que desee contribuir a BIOTREE-NET con inventarios forestales es bienvenida a participar en esta iniciativa. La base de datos de BIOTREE-NET está disponible en <http://portal.biotreenet.com>. La página web contiene instrucciones precisas sobre cómo acceder a los datos y utilizarlos. El acceso a la información espacial (capas SIG en formato vectorial) está, sin embargo, restringido a aquellas personas que hayan contribuido con datos a la red. Es importante resaltar que aquellas personas que contribuyan con datos deben firmar un acuerdo que implica compartir esos datos y hacerlos públicos. Si los datos de BIOTREE-NET se utilizan en una publicación científica, las personas que hayan proporcionado esos datos deben ser contactadas para ofrecerles la oportunidad de colaborar en dicha publicación. Se puede encontrar información adicional sobre cómo participar, el acuerdo de uso de datos y los derechos de propiedad intelectual en la página web de BIOTREE-NET (www.biotreenet.com/espanol/html).

Agradecimientos

El desarrollo de la red BIOTREE-NET ha sido posible gracias al proyecto "Red Internacional de Inventarios Forestales para la Investigación y la Conservación de la Diversidad en Centroamérica" (BIOCON08_044), financiado por la Fundación BBVA. La Universidad Rey Juan Carlos financió parcialmente el portal de datos. Este artículo ha sido escrito durante un taller de trabajo realizado en el Smithsonian Tropical Research Institute, en Ancón, Panamá, durante los días 28-30 de mayo de 2012. Agradecemos a Luis Navarro la cuidadosa revisión y edición de una versión preliminar del artículo. Los datos contenidos en BIOTREE-NET han sido aportados por L. Cayuela, D.J. Golicher, N. Ramírez-Marcial, M. González-Espinosa, R.A. Zahawi, P. Balvanera, S. W. Brewer, A. Camacho-Cruz, I. Coronado, B. de Jong, R. del Castillo, Í. Granzow-de la Cerda, J. Fernández, W. Fonseca, L. Galindo-Jaimes, T. W. Gillespie, B. González-Rivas, J. E. Gordon, J. Hurtado, J. Linares, S. G. Letcher, S. A. Mangan, J. A. Meave, E. V. Méndez, V. Meza, S. Ochoa-Gaona, C. J. Peterson, V. Ruiz-Gutiérrez, K. A. Snarr, F. Tun Dzul, M. Valdez-Hernández, K. M. Viergever, D. A. White, J. N. Williams. Los datos del Parque Nacional de Cusuco, Honduras, fueron recogidos gracias al apoyo logístico y a la financiación de Operación Wallacea.

Referencias

- Brooks T., Hannah, L., da Fonseca, G.A.B., Mittermeier, R.A. 2001. Prioritizing hotspots, representing transitions. *Trends in Ecology and Evolution* 16:673.
- Brooks, T.M., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C., Da Fonseca, G.A.B., Rylands, A.B., Konstant, W.R., Flick, P., Pilgrim, J., Oldfield, S., et al. 2002. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation Biology* 16:909-923.
- Brown, J.H., Lomolino, M.V. 1998. *Biogeography*, 2nd edn. Sinauer Press, Sunderland, Massachusetts.
- Cayuela, L. 2012. *Taxonstand: Taxonomic standardization of plant species names*. R package version 1.0. Madrid. España. [21/05/2012]. <http://cran.r-project.org/web/packages/Taxonstand/>.
- Cayuela, L., Golicher, J.D., Newton, A.C., Kolb, M., Albuquerque, F.S., Arets, E.J.M.M., Alkemade, J.R.M., Pérez, A.M. 2009. Species distribution modeling in the tropics: problems, potentialities, and the role of biological data for effective species conservation. *Tropical Conservation Science* 2:319-352.
- Cayuela, L., Gálvez-Bravo, L., Pérez-Pérez, R., Albuquerque, F.S., Golicher, D.J., Zahawi, R.A., Ramírez-Marcial, N., Garibaldi, C., et al. 2011 (en prensa). The Tree Biodiversity Network (BIOTREE-NET): Prospects for biodiversity research and conservation in the Neotropics. *Biodiversity and Ecology* 4:000-000.
- Cayuela, L., Granzow-de la Cerda, I., Albuquerque, F.S., Golicher, J.D. 2012. Taxonstand: An R package for species names standardisation in vegetation databases. *Methods in Ecology and Evolution* 00:000-000.

- Dewalt, S.J., Schnitzer, S.A., Denslow, J.S. 2000. Density and diversity of lianas along a chronosequence on a central Panamanian lowland forest. *Journal of Tropical Ecology* 16:1-19.
- Dirzo, R., Raven, P.H. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environmental Resources* 28:137-167.
- Funk, S.M., Fa, J. E. 2010. Ecoregion prioritization suggests an armoury not a silver bullet for conservation planning. *PLoS ONE* 5:e8923.
- Funk, V.A., Richardson, K.R., Ferrier, S. 2005. Survey-gap analysis in expeditionary research: where do we go from here? *Biological Journal of the Linnean Society* 85:549-567.
- Golicher, D.J., Cayuela, L., Newton, A. 2012 (en prensa). Pseudo-absences, pseudo models and pseudo niches: pitfalls of the area under the curve. *International Journal of Geographical Information Science* 00:000-000.
- Guisan A., Zimmermann N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135:147-186.
- Isaac, N.J.B., Mallet, J., Mace, G.M. 2004. Taxonomic inflation: its influence on macroecology and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 19:464-469.
- Jiménez-Valverde, A., Lobo, J.M., Hortal, J. 2008. Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and Distributions* 14:885-890.
- Laurance, W.F. 1999. Reflections on the tropical deforestation crisis. *Biological Conservation* 91:109-117.
- Lobo, J.M., Jiménez-Valverde, A., Real, R. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17:145-151.
- Lomolino, M.V. 2004. Conservation biogeography. En: Lomolino, M.V., Heaney, L.R. (eds.). *Frontiers of Biogeography: new directions in the geography of nature*, pp. 293-296. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Lopez Gonzalez, G., Phillips, O.L. 2012. Estudiando el Amazonas: la experiencia de la Red Amazónica de Inventarios Forestales. *Ecosistemas* 21(1-2): 118-125.
- Malhi, Y., Phillips, O.L., Lloyd, J., Baker, T.R., Wright, J., Almeida, S., Arroyo, L., Frederiksen, T., Grace, J., et al. 2002. An international network to monitor the structure, composition and dynamics of Amazonian forests (RAINFOR). *Journal of Vegetation Science* 13:439-450.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.B., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- Nic Lughadha, E., Baillie, J., Barthlott, W., Brummitt, N.A., Cheek, M.R., Farjon, A., Govaerts, R., Hardwick, K.A., Hilton-Taylor, C., et al. 2005. Measuring the fate of plant diversity: towards a foundation for future monitoring and opportunities for urgent action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 360:359-372.
- Novotny, V., Drozd, P., Miller, S.E., Kulfan, M., Janda, M., Basset, Y., Weiblen, G.D. 2006. Why are there so many species of herbivorous insects in tropical rainforests? *Science* 313:1115-1118.
- Olson, D.M., Dinerstein, E. 2002. The Global 200: priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 89:199-224.
- Sodhi, N.S., Koh, L.P., Brook, B.W., Ng, P.K.L. 2004. Southeast Asia biodiversity: An impending disaster. *Trends in Ecology and Evolution* 19:654-659.
- Sporn, S.G., Bos, M.M., Kessler, M. 2010. Vertical distribution of epiphytic bryophytes in an Indonesian rainforest. *Biodiversity and Conservation* 19:745-760.
- Torres-Salinas, D., Robinson-García, N. Cabezas-Clavijo, A. 2012. Compartir los datos de investigación en ciencia: introducción al data sharing. *El Profesional de la Información* 21:173-184.

Wright, S.J., Muller-Landau, H.C. 2006. The future of tropical forest species. *Biotropica* 38:287-301.

Yesson C., Brewer, P.W., Sutton, T., Caithness, N., Pahwa, J. S., Burgess, M., Gray, W.A., White, R.J., Jones, A.C., et al. 2007. How global is the Global Biodiversity Information Facility? *PLoS ONE* 2:e1124.

Zhao, Z.W., Wang, G.H., Yang, L. 2003. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a tropical rainforest of Xishua-ngbanna, southwest China. *Fungal Diversity* 13:233-242.