

El árbol de la castaña (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) en Bolivia: distribución geográfica e impacto de la deforestación 2010-2015

The Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) in Bolivia: geographical distribution and deforestation impacts 2010-2015

Daniel M. Larrea-Alcázar^{1*}, Gabriela Villanueva¹, Abraham Poma¹, Freddy S. Zenteno-Ruiz^{2,3}, Alejandro Araujo-Murakami⁴, Saúl Altamirano⁵ & Carlos De Ugarte¹

¹Asociación Boliviana para la Investigación y Conservación de Ecosistemas Andino-Amazonicos (ACEAA-Conservación Amazónica), Calle Flores Quintela, Ed. Nro. 7, Oficina 1B, La Paz, Bolivia. * Autor para correspondencia: dlarrea@conservacionamazonica.org.bo; larrea.alcazar@gmail.com

²Herbario Nacional de Bolivia, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

³Proyecto Identidad Madidi, WCS-Bolivia, La Paz, Bolivia.

⁴Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Casilla N° 2489, Santa Cruz, Bolivia.

⁵Herbario Nacional Forestal Martín Cárdenas, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón. Calle Sucre, Casilla 538, Cochabamba, Bolivia.

Resumen

En este estudio, examinamos la distribución geográfica de la castaña y el impacto de la deforestación ocurrida entre los años 2010 y 2015. Específicamente: a) modelamos la distribución de la especie usando el algoritmo Maxent para confirmar si su distribución se encuentra restringida a los bosques tropicales húmedos del norte de Bolivia, b) usando información generada por OTCA-MMAyA (2016) sobre la deforestación ocurrida entre los años 2010-2015, estimamos la pérdida de bosque con castaña en este periodo y c) utilizando información sobre censos completos realizados en la TCO Tacana II (norte de La Paz) y la RNVSA Manuripi (suroeste de Pando), calculamos el número de árboles de castaña que podrían haberse perdido por tal deforestación. Los resultados muestran que la castaña en Bolivia ocupa cerca de 84 mil km² (16% menos que la estimación histórica), distribuida en dos áreas, una en la región Heath-Alto Madeira (subcuencas de los ríos Tahumanu, Yata, Abuná, Acre, Manurimi y Madre de Dios) y la otra en la región de Iténez (en la subcuenca del mismo nombre). Cerca del 0.76% (639 km²) del bosque con castaña fue deforestado en el periodo 2010-2015, sugiriendo la pérdida de 27 mil árboles de castaña (0.15% del total histórico estimado). Futuras investigaciones que evalúen las variaciones geográficas de la fenología reproductiva y su relación con el clima o la diversidad genética de las poblaciones de castaña que crecen en Bolivia serán importantes para determinar el estado actual de la especie y proponer pautas de manejo.

Palabras clave: Árboles aislados, Ganadería, Geoglifos, Terra petra, Zafra.

Abstract

In this study, we evaluated the geographical distribution of the Brazil nut in Bolivia, and the impact on its populations caused by deforestation from 2010 to 2015. Specifically: a) we modeled the distribution of the species using the Maxent algorithm in order to confirm if its distribution

is restricted to the humid tropical forests of the northern of Bolivia; b) we estimated the loss of Brazil nut forest occurred between 2010- 2015 using information published by OTCA-MMAyA (2016); and c) we calculated the number of Brazil nut trees that could have been lost due to such deforestation using information on complete censuses carried out in TCO Tacana II (north of La Paz) and RNVSA Manuripi (southwest of Pando). The results suggest that Brazil nut forest covers about 84 thousand km² (16% less than the historical estimation) distributed in two areas, one in the Heath-Alto Madeira region covering the sub-basins of the Tahumanu, Yata, Abuná, Acre, Manurimi and Madre de Dios (97% of cover), and the other in the Iténez region, in the northern portion of the sub-basin having the same name (3%). About 0.76% (639 km²) of Brazil nut forest was deforested in the period 2010-2015, affecting about 27,000 Brazil nut trees (0.15% of the historical total estimated). Future research evaluating geographic variations in reproductive phenology and its relation to climate or to the genetic diversity of Brazil nut populations inhabiting Bolivia will be important in order to determine the current state of the species and to propose management guidelines.

Key words: isolated trees, cattle, geoglyphs, terra petra, Brazil nut harvest.

Introducción

El árbol de la castaña (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) representa la piedra angular del paradigma de la “conservación a través del uso” que ha permitido la conservación de millones de hectáreas de bosque tropical húmedo en el bioma amazónico (Ortíz 2002, Guariguata *et al.* 2017). En Bolivia existen cerca de 248 mil km² de bosque amazónico en el país (22.6% de Bolivia, Altamirano *et al.* 2015), de los que se estima que el 40% (100 mil km² o 9.1% del país) corresponde a bosques que albergan cerca de 17 millones de árboles de castaña bajo aprovechamiento (PROCISUR-IICA 1997, Stoian 2004, IBCE 2010). La percepción positiva del bosque con castaña en pie ha disminuido el interés por su conversión en áreas agrícolas o pecuarias (Zenteno *et al.* 2013, Guariguata *et al.* 2017). A pesar de la importancia económica de la especie, su distribución geográfica en Bolivia no ha sido analizada con detalle, la cual ha sido restringida con frecuencia a los bosques amazónicos de tierra firme del norte del país (PROCISUR-IICA 1997, Zuidema 2003, Stoian 2004, IBCE 2010, Thomas *et al.* 2014), específicamente al bosque amazónico de las subcuencas de los ríos Tahumanu, Yata, Abuná, Acre, Manurimi y Madre de Dios.

El norte de Bolivia exhibe un gradiente de sequía tropical oeste-este (Seiler *et al.* 2013, Feldpausch *et al.* 2016), definiendo un bioclima pluviestacional submesofítico, en el oeste y centro de Pando en la región del Acre y Madre de Dios, y un bioclima pluviestacional subxerofítico en el este de Pando y el noroeste del Beni, región del Madeira y Tapajós (Navarro 2002, 2011). Esto sugiere que los árboles de castaña que crecen hacia el este del Pando estarían expuestos a meses sin lluvia con mayores temperaturas que los que crecen hacia el oeste (Seiler *et al.* 2013, 2014), además de ser una zona menos húmeda que presenta un sistema geológico que se caracteriza por presentar suelos lateríticos de origen precámbrico que se extienden desde el noreste de Santa Cruz (Navarro 2002, 2011). Este patrón climático-geológico podría tener efectos en la distribución geográfica de la castaña, sugiriendo que la especie podría extender su patrón espacial de distribución alcanzando las cuencas de los ríos Mamoré, San Miguel e Iténez.

Bolivia es uno de los países neotropicales con mayor pérdida por deforestación de bosque amazónico (Müller *et al.* 2012, 2014). Se estima que en el periodo 1976-2000 la pérdida de bosque amazónico fue de 14 mil km²

(aprox. 1.4 millones de hectáreas) y que entre los años 2000-2010 se perdieron 8.3 mil km² (aprox. 834 mil hectáreas en total), a un ritmo de 835 km²/año (83.5 mil ha/año, Müller & Montero 2015). Los frentes de deforestación (“hotspot”) en la Amazonia boliviana han sido identificados en las siguientes zonas: a) el sector Riberalta-Guayamerin, b) el sector Cobija y alrededores y c) el sector Yucumo-San Borja-Rurrenabaque (Cuéllar *et al.* 2012, Müller & Montero 2015). La conversión del bosque a pasturas sembradas para la ganadería fue el principal impulsor de cambio entre los años 2000-2010 (Müller *et al.* 2014). La ganadería representa la mayor amenaza para los bosques amazónicos con castaña debido a la posibilidad de exportación de carne y lácteos al Brasil a partir de la declaración de extensas áreas de producción como “libres de fiebre aftosa” (Müller *et al.* 2012, Müller & Montero 2015). La pérdida de árboles de castaña debida a la deforestación ha sido poco evaluada (Quiroz *et al.* 2017).

En este estudio, examinamos el impacto de la deforestación ocurrida entre los años 2010 y 2015 sobre el bosque amazónico con castaña de Bolivia. Nuestros objetivos fueron: a) modelar la distribución geográfica de la castaña en Bolivia para confirmar el patrón geográfico de su distribución, b) estimar la pérdida de bosque con castaña causada por la deforestación 2010-2015 y c) calcular el número de árboles de castaña que podrían haberse perdido por esta deforestación. Asumimos que la pérdida de bosque por deforestación implicó la pérdida de árboles de castaña que fueron talados, quemados o quedaron intactos pero desprovistos de su vegetación acompañante.

Métodos

Descripción de la especie

Bertholletia excelsa es la única especie del género que fue descrita por los botánicos A. Humboldt y A. Bonpland en 1807, quienes descubrieron

la especie en el Alto Orinoco de Venezuela. Se distribuye desde los 5°N hasta 14°S, específicamente, Venezuela, Colombia, Perú, Bolivia, Suriname, Guyana y Brasil (Zuidema 2003, Thomas *et al.* 2014, 2015, Rockwell *et al.* 2015). Para Bolivia, existen registros de diferentes familias lingüísticas (p.ej. tacana, pano, chapakura) con términos indígenas para referirse a la castaña, entre ellos, los vocablos moke/moje/muihe (Tacana), tapa/lama (Pano) o toke/tokwe (Chapakura) (Shepard & Ramírez 2011). Es una especie alógama y autoincompatible que presenta altos niveles de diversidad genética (Sujii *et al.* 2015). Son árboles que pueden llegar a medir más de tres metros de diámetro a la altura del pecho (DAP) y alcanzar entre 30 y 50 m de altura. El tronco no desarrolla aletones y la corteza contiene grietas conspicuas y longitudinales (Mori & Prance 1990, Zuidema 2003, Fig.1). Posee hojas simples, oblongas y alternas que caen en la época seca. Las flores pueden alcanzar hasta los 3 cm de diámetro, de consistencia carnosa y con una capucha doblada que le permite a los polinizadores (abejas y abejorros de los géneros *Bombus*, *Xylocopa*, *Euglossa* y *Eulaema*) ingresar a la flor (Mori & Prance 1990, Cavalcante *et al.* 2012). El fruto consiste de una capsula seca, pixidio incompleto indehiscente o “coco” de 10-15 cm de diámetro y 1.5-2.0 kg que contiene entre 15 y 25 semillas (Mori & Prance 1990, Zuidema 2003, Fig. 1). Evitar la tala de los árboles adultos es clave para mantener las poblaciones de la especie (Bertwell *et al.* 2017).

Los árboles de castaña crecen sobre todo en los bosques amazónicos de tierra firme, un tipo de bosque que se caracteriza por estar encima del nivel máximo de inundación de las aguas que nunca o muy rara vez se inunda (Araujo-Murakami *et al.* 2012, 2015). Los suelos de estos bosques están clasificados como acrisoles y cambisoles con algunas manchas de ferralsoles y leptosoles. Los suelos acrisoles y cambisoles tienden a ser dominantes en el oeste de Pando (Acre-Madre de Dios), mientras que los ferralsoles son comunes hacia



Figura 1. *Bertholletia excelsa* (Lecythidaceae): a) árbol adulto, b) flores, c) fruto abierto, d) plántula. Fotos ACEAA-Conservación Amazónica (Pando, Bolivia).

la porción este (Alto Madeira) (Quezada *et al.* 2012). De acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la castaña es considerada a nivel global como una especie en estado vulnerable (VU), categoría que también le ha sido asignada a nivel nacional (MMAyA/CBG 2017).

Base de datos de ocurrencias

A partir de la información disponible para 47 especímenes almacenados en la base de datos del Missouri Botanical Garden, MO (www.tropicos.org), recopilamos una base de datos

georreferenciada de 25 registros de *B. excelsa* para Bolivia, Perú, Brasil, Venezuela y Trinidad y Tobago. Los restantes 22 especímenes no contaban con coordenadas geográficas sobre su lugar de colecta. Todos los registros incluidos en la base de datos del MBG cuentan con especímenes coleccionados de referencia. Para el caso de Bolivia incluye información del Herbario Nacional de Bolivia (LPB), Herbario del Oriente Boliviano (USZ) y el Herbario Forestal Nacional “Martín Cárdenas” (BOLV). Completamos la base de datos con cuatro datos de ocurrencia proporcionados por ACEAA (Asociación Boliviana para la Investigación y Conservación de Ecosistemas

Andino-Amazónicas) y WWF-Bolivia (World Wildlife Fund) para dos áreas en Bolivia con presencia de la especie aunque sin especímenes coleccionados, específicamente, para la TCO Tacana II (norte de La Paz) y el Parque Departamental y Área Natural de Manejo Integrado Iténez (oeste del Beni), respectivamente. La base de datos final comprendió 29 registros georreferenciados en total, de los cuales, 17 correspondieron a Bolivia (58.6%). El número de registros de presencia permitió el uso del algoritmo Maxent que es recomendable a partir de cinco (Pearson *et al.* 2007, Hernández *et al.* 2008, entre otros).

Distribución geográfica de castaña

Para identificar el patrón geográfico de distribución de *B. excelsa*, modelamos la distribución de la especie usando el algoritmo Maxent (<http://maxent.sourceforge.net>, Phillips *et al.* 2006). Basados en el estudio de Thomas *et al.* (2014), corrimos el modelo usando las 19 variables bioclimáticas de Worldclim (Hijmans *et al.* 2005) y un modelo digital de elevación (DEM) de 90 m (0.81 ha) generado por la NASA (NASA's Shuttle Radar Topography Mission, www2.jpl.nasa.gov/srtm/). Incluimos en el modelo el mapa de biomasa (toneladas métricas de carbono, tC), generado por Woods Hole Research Center (WHRC, <http://whrc.org/>) para el año 2010 a una resolución de 500 x 500 m (2,500 ha o 0.25 km²) y el mapa global de ecorregiones propuesto por Olson *et al.* (2001) a escala 1:1,000,000.

Siguiendo la sugerencia de Phillips & Dudík (2008), la distribución de la especie fue modelada a partir del remuestreo del 80% de sus registros, utilizando el 20% restante para su validación. La exactitud del modelo fue determinada a través de un análisis ROC (siglas en inglés: *receiver operating characteristic*). Este análisis establece que el área bajo la curva (AUC, en inglés: *area under the curve*) suministra una medida robusta del desempeño del modelo. Un modelo óptimo

tiene un AUC de 1.0, mientras que un modelo que predice que las ocurrencias de especies al azar tiene un AUC de 0.5 (Phillips *et al.* 2006). El valor de AUC del modelo fue de 0.97.

El mapa resultante en formato *ascii* fue procesado en ArcGis 10.5 (www.arcgis.com) para generar un mapa de probabilidades y un mapa binario de presencia (1) o ausencia (0). Este último mapa fue generado usando valores de umbral de sensibilidad especificidad de 10⁻⁵ con 1.000 iteraciones. El mapa resultante fue revisado por FZ, AP, AA y SA hasta alcanzar un mapa de consenso congruente con la historia natural y patrones biogeográficos conocidos para la especie. La revisión por expertos en la especie ha sido recomendada para evitar que la distribución modelada sea proyectada en formaciones de vegetación donde es poco probable que la especie esté presente (e.g. Elith *et al.* 2011, Manceur & Kühn 2014, Gomes *et al.* 2018, entre otros). La resolución del análisis fue de 100 ha (1.0 km²). El mapa de consenso fue superpuesto con el mapa hidrográfico de cuencas (nivel 4) propuesto por la iniciativa Aguas Amazónicas (www.aguasamazonica.org) para estimar la cobertura de la distribución de castaña en estas unidades naturales de división funcional.

Pérdida de bosque con castaña por deforestación

Recopilamos información cartográfica (.shp) generada por OTCA-MMAyA (2016) a cerca de la deforestación ocurrida entre los años 2010 y 2015 en las tierras bajas de Bolivia. La metodología usada por la OTCA-MMAyA (2016) se basa en el procesamiento de imágenes Landsat L8, su corrección, segmentación, cálculo del Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI) y cálculo de apoyo de Cobertura Fraccional de Sustratos de Superficie Terrestre usando el software CLASlite (<http://claslite.ciw.edu/en/>). El mapa resultante fue superpuesto con el mapa de distribución potencial de castaña para

estimar la pérdida de bosque (ha) con castaña ocurrida entre los años 2010 y 2015.

Pérdida de árboles de castaña por la deforestación

Para estimar la pérdida de árboles de castaña por la deforestación 2010-2015, utilizamos información georreferenciada sobre censos completos de árboles de castaña realizados en dos comunidades de la TCO Tacana II (comunidades de Las Mercedes y El Tigre) y una en la Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica Manuripi (RNVSA Manuripi, comunidad de Villa Florida). El área censada en las tres comunidades cubre cerca de 88 mil ha (39.4 mil, 34.4 mil y 14.5 mil ha, respectivamente). Usando ArcGis 10.5 se ubicaron por azar tres puntos centrales o centroides, a partir de los cuales delimitamos tres parcelas (uno por comunidad) de 4 x 4 km. Este tamaño de parcela resulto de la estimación de un área mínima de muestreo (superficie a la cual el número de árboles censados se hizo constante, ver Larrea-Alcázar *et al.* 2016). En cada parcela generamos una grilla de celdas de 1.0 ha de superficie (1,600 celdas de 1.0 ha por parcela, 4,800 en total, Fig. 2). Con estos datos calculamos la media de la densidad de castaña para cada parcela (número de árboles de castaña/ha) y la distribución de frecuencias (%) de las densidades detectadas en las tres parcelas (entre 0 y 6 árboles/ha).

Usando los valores de densidad promedio y la distribución de frecuencias de las densidades, estimamos el número de árboles que se habrían perdido por la deforestación 2010-2015. Para el primer caso, multiplicamos la densidad promedio de las parcelas de 4 x 4 km por el total de hectáreas deforestadas. Para el segundo caso, utilizamos la distribución de frecuencias de las densidades asignando estos valores de forma espacialmente explícita al total de hectáreas deforestadas usando la extensión GeoStatistical Analyst del ArcGis 10.5. Este procedimiento permitió incluir en

la estimación la posibilidad que el bosque deforestado no cuente con árboles de castaña (0.74% que corresponde a la distribución de frecuencia de densidades sin árboles de castaña). Para realizar este cálculo asumimos las siguientes premisas: a) que la pérdida de bosque por deforestación implicó la pérdida de los árboles de castaña en estas áreas, los cuales pudieron ser talados, quemados o quedaron intactos pero desprovistos de su vegetación acompañante y b) que la distribución de frecuencias de las densidades de las tres parcelas de 4 x 4 km fue representativa de la castaña a lo largo de su distribución geográfica en Bolivia. La autocorrelación espacial o dependencia espacial entre el patrón geográfico de la deforestación 2010-2015 y la pérdida de árboles de castaña fue analizada con el índice global I de Moran (Read & Lam 2002). Una autocorrelación espacial positiva sugiere una tendencia al agrupamiento de las unidades espaciales analizadas (valores de I de Moran mayores a cero), mientras que una autocorrelación espacial negativa indica una tendencia a la dispersión (valores de I de Moran menores de cero). Realizamos este cálculo usando la herramienta Spatial Autocorrelation del ArcGis 10.5.

Resultados

Distribución geográfica de castaña

La distribución modelada de la castaña ocupó una superficie de 83.794 km² equivalente a de 8.3 millones de ha (7.6% de la superficie de Bolivia). Cerca del 97% de la distribución de castaña (81.528 km²) estuvo ubicada hacia al norte amazónico de Bolivia (Heath-Alto Madeira) y 3% (2.265 km²) en una pequeña porción en la subcuenca del río Iténez al este del país (Figs. 3a-b). Cerca de 6.3 millones de ha (74% del total) de esta distribución estuvo agrupada en seis subcuencas de la cuenca amazónica de Bolivia (Tahumanu, Yata, Abuná, Acre, Manurimi y Madre de Dios), destacando

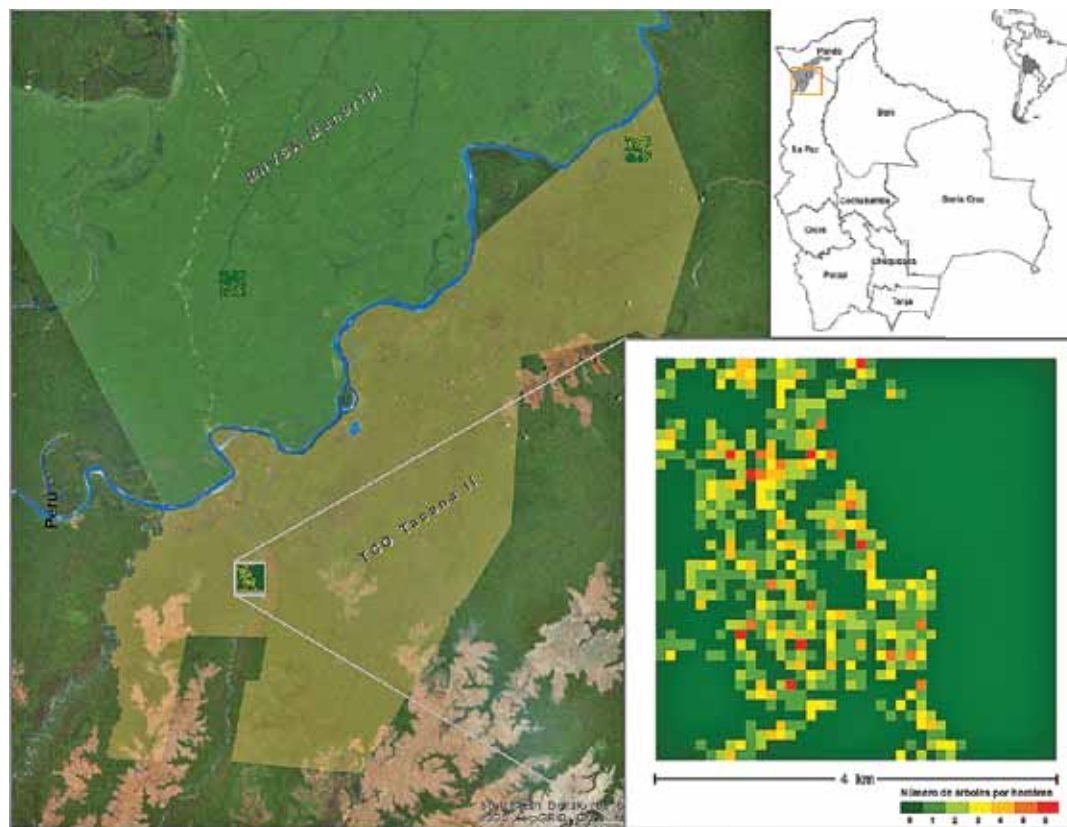


Figura 2. Ubicación de las tres parcelas de 4 x 4 km (16 km²) en el TCO Tacana II (comunidades de Las Mercedes y El Tigre, norte del Dpto. de La Paz) y la Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica Manuripi (RNVSA Manuripi, comunidad de Villa Florida, Dpto. de Pando). La figura muestra el detalle de la densidad de árboles de *Bertholletia excelsa* (Lecythidaceae) en la parcela ubicada en la comunidad Las Mercedes.

las subcuencas de los ríos Abuná y Tahuamanu con 3,5 millones de ha de bosque con castaña. La cuenca del río Abuná fue la que mostró mayor cobertura de castaña con relación a su superficie total (89.9%). El modelo no mostró probabilidad de presencia de la especie en las subcuencas de los ríos San Miguel y Mamoré.

Pérdida de bosque con castaña por deforestación

La pérdida de bosque con castaña en el periodo 2010-2015 fue de 639 km² (63,9 mil hectáreas en

total, aprox. 12,8 mil ha/año), que representó cerca de 5.9% de la deforestación total detectada para las tierras bajas de Bolivia por OTCA-MMAyA (2016) (1.1 millones de ha en el periodo 2010-2015). Cerca del 99% de la pérdida de bosque con castaña (638.1 km² o 63.8 mil ha, Fig. 4a) ocurrió en el área Heath-Alto Madeira y 1% (1.8 km² ó 180 ha) en el sector de Iténez. La superficie deforestada de bosque con castaña fue <1% de la superficie de las cuencas donde se distribuye la castaña, salvo en las cuencas de los ríos Acre y Yata (1.1 y 1.9% de la superficie de cada cuenca, respectivamente).

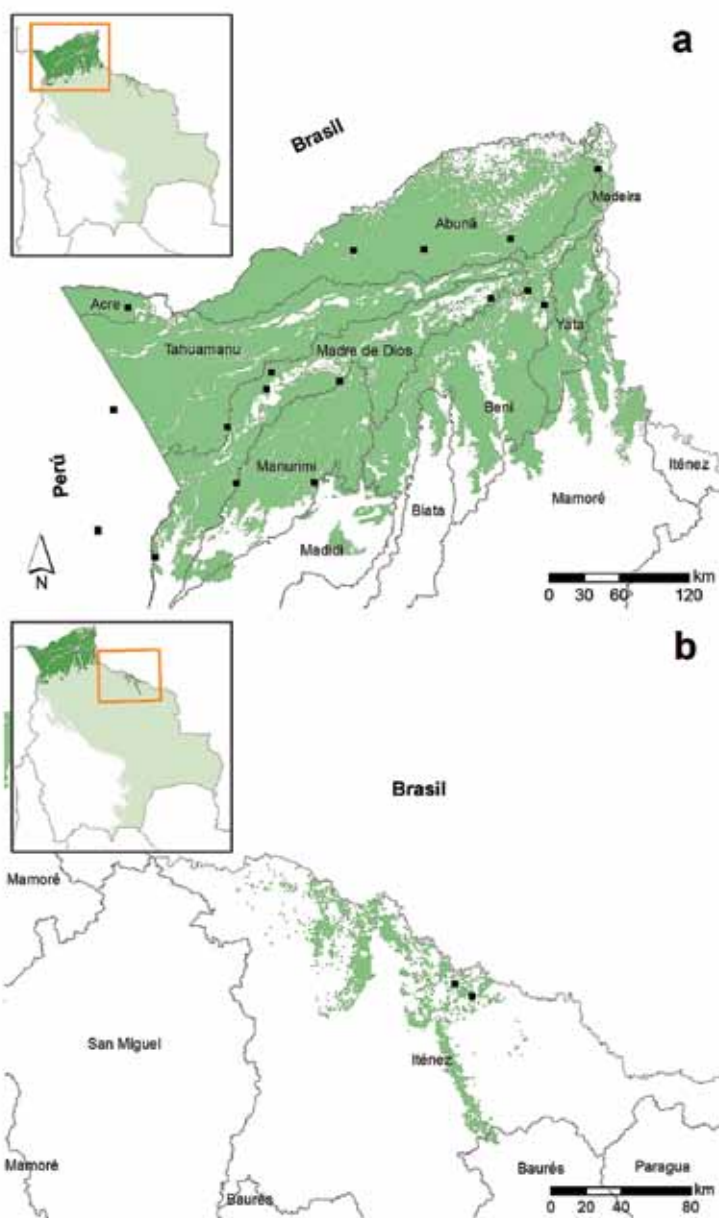


Figura 3. Distribución geográfica de *Bertholletia excelsa* (Lecythydaceae) en Bolivia mostrando la distribución disgregada de la especie en dos sectores: a) Heath-Alto Madeira y b) Iténez.

El mapa final de consenso fue generado a partir del algoritmo Maxent y la revisión de expertos del Herbario Nacional de Bolivia (LPB), Herbario del Oriente Boliviano (USZ) y el Herbario Forestal Nacional “Martín Cárdenas” (BOLV). El mapa muestra la información georreferenciada usada en el modelaje (■), junto con la cobertura de las tierras bajas de Bolivia (menor a 1.000 m).

Pérdida de árboles de castaña por la deforestación

El número de árboles de castaña perdidos por la deforestación 2010-2015 fue de 27,676. Cerca del 99.7% de este total, correspondieron a árboles del área Heath-Alto Madeira y el 0.3% al sector de Iténez (Fig. 4b). Una dependencia espacialmente positiva entre el patrón geográfico de deforestación y la afectación de árboles de castaña fue detectada ($I=0.0057$, $z=14.7$ $P<0.01$), sugiriendo una tendencia al agrupamiento, es decir, áreas que experimentaron mayor deforestación presentaron mayores valores de afectación de árboles de castaña. Cuando la estimación fue realizada usando la media de densidad de las parcelas de 4 x 4 km (0.5 árboles/ha), el número de individuos afectados fue de 31.994 árboles, es decir, 14% más que la estimación calculada usando la distribución de frecuencias de las densidades de las parcelas de 4 x 4 km.

Discusión

Los resultados confirman que la distribución geográfica de la castaña en Bolivia se encuentra asociada con los bosques húmedos amazónicos de tierra firme de las subcuencas de los ríos Tahumanu, Yata, Abuná, Acre, Manurimi y Madre de Dios (norte del país); no obstante, revelan una pequeña porción hacia el oriente de la subcuenca del río Iténez (oriente de Bolivia). Una estrecha relación entre el patrón actual de distribución de la castaña y vestigios históricos de las actividades humanas de la América precolombinas [*terra preta do índio* (suelos fértiles y oscuros de origen antropogénico pre-colombino denominados también como ADE, por sus siglas en inglés (Amazonian Dark Earth Soils, Myers *et al.* 2003) y geoglifos (estructuras construidas de tierra usualmente de forma circular, Myers *et al.* 2003)] podría ser la explicación más plausible para comprender

este patrón geográfico (Peres & Baidier 1997, Balée 2013, Clement *et al.* 2015, Thomas *et al.* 2014, 2015). Las formaciones de *terra preta* y geoglifos amazónicos tienden a disminuir hacia los bosques siempreverde estacionales amazónicos del Escudo Precámbrico (este de Bolivia, con posible presencia solo en Guarayos y La Chonta), donde las probabilidades de presencia disminuyeron notoriamente reduciendo la presencia de castaña a las zonas pluviestacionales de esta región. Este patrón muestra que: a) la distribución de la castaña alcanza su límite más austral en Bolivia hacia los bosques amazónicos ubicados en Iténez y Bajo Paragua, es decir, en la zona de transición entre la Amazonía y la Chiquitanía de reciente formación (Mayle 2004) y, b) la existencia de dos áreas de bosques con castaña en Bolivia (Heath-Alto Madeira e Iténez).

La pérdida de bosque con castaña coincide con el sector Riberalta-Guayamerín, uno de los tres frentes de deforestación de la Amazonía boliviana. Gran parte del bosque perdido pudo habilitarse como pasturas sembradas para desarrollar actividades pecuarias (Müller *et al.* 2014, Müller & Montero 2015) o para implementar sistemas agroforestales (SAF). Es posible encontrar árboles remanentes de castaña en estos paisajes, usualmente aislados. Estos árboles no fueron talados durante el proceso de desmonte, pero si la vegetación circundante, es decir, las especies que la acompañan (ver Poma 2007, Llanos 2008, Araujo-Murakami *et al.* 2012). Este aislamiento producido por la pérdida de estructura del bosque podría disminuir la cantidad de frutos debido a que las abejas polinizadores de la castaña (géneros *Bombus*, *Xylocopa*, *Euglossa* y *Eulaema*) residen usualmente en los árboles vecinos (Santos & Absy 2010, Sujii *et al.* 2015). Bajo tales condiciones, la supervivencia y capacidad reproductiva de estos árboles aislados son inciertos, de hecho, es común encontrar árboles de castaña con muestras evidentes de estrés (p.ej. defoliación o cortezas dañadas por insectos) en pasturas cultivadas

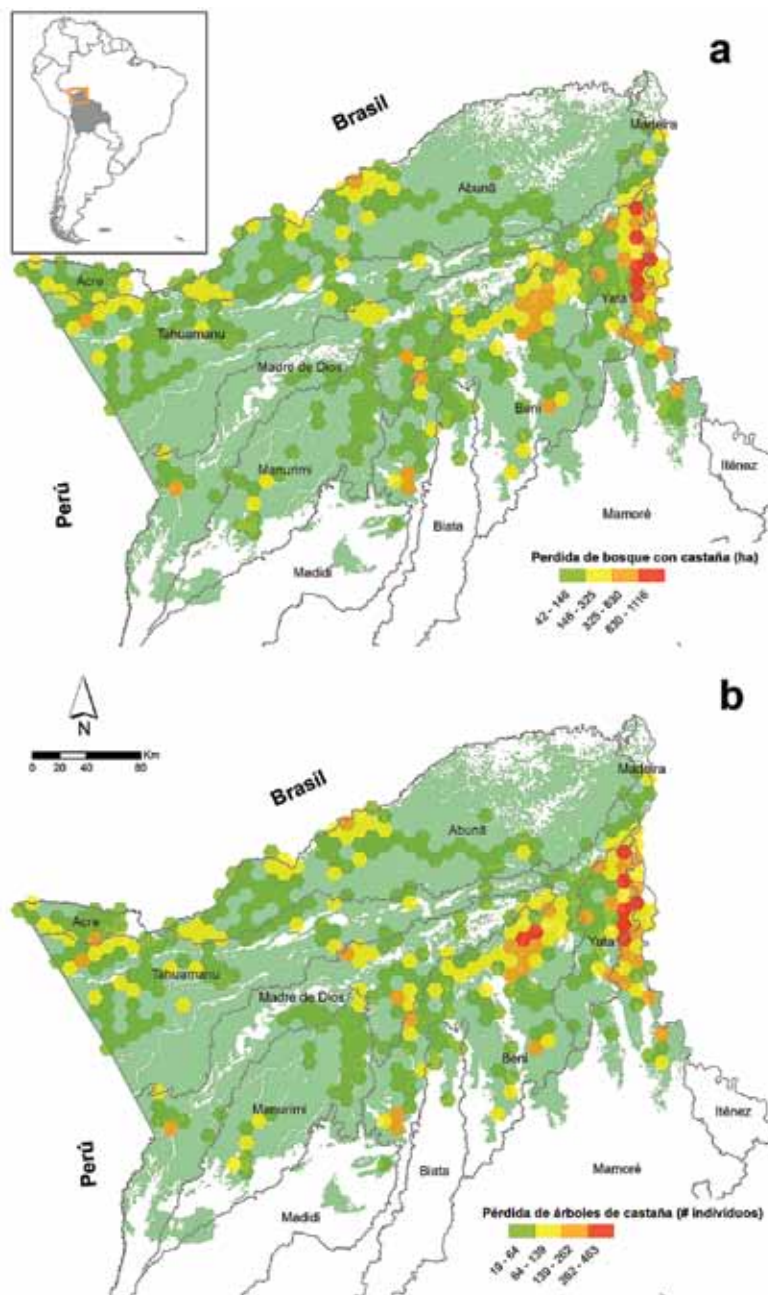


Figura 4. a) Patrón geográfico de pérdida de bosque con castaña por la deforestación ocurrida entre los años 2010 y 2015 en el área Heath-Alto Madeira. b) Patrón geográfico de la afectación de árboles de *Bertholletia excelsa* (Lecythydaceae) en el área Heath-Alto Madeira. En ambos casos se representa celdas de 100 km². En el área de Iténez se detectó una pérdida de bosque de 1.8 km² (180 ha) equivalente al 1% del total.

de edades intermedias y pastizales maduros ya sin árboles de castaña.

La distribución en dos áreas de la castaña en la región del Madeira y Tapajós (este de Bolivia) puede ser explicada también por la presencia de suelos húmedos moderadamente a mal drenados que caracterizan la desembocadura del río Mamoré, es decir, las llanuras aluviales de los ríos del margen suroeste del Escudo Precámbrico (e.g. Navarro & Ferreira 2009, Navarro 2011). Estas condiciones edáficas podrían condicionar la germinación de semillas o el emergimiento y crecimiento de las plántulas, al tratarse de una especie que crece en suelos bien drenados (Zuidema 2003, Cotta *et al.* 2008 y otros) y explicar la ausencia de la especie en esta porción de la Amazonia boliviana. Consecuencias asociadas a limitaciones en el sistema de dispersión son poco probables debido a que su principal dispersor de las semillas (el agutí *Dasyprocta punctata*, Dasyproctidae, Peres & Baidier 1997, Peres *et al.* 1997, Haugaasen *et al.* 2012), se distribuye a lo largo de las tierras bajas de Bolivia (menores de 1000 m de altitud) ocupando bosques amazónicos con distintos grados de drenaje en sus suelos (Wallace *et al.* 2010). El área Heath-Alto Madeira coincide también en buena parte con el refugio climático donde se espera se mantengan hábitats sostenibles para la castaña (Thomas *et al.* 2014).

A pesar de la importancia socioeconómica y cultural de la castaña, nuestro conocimiento sobre la biología y ecología de la especie en Bolivia es aún escaso. Algunas poblaciones de castaña que crecen en las localidades de Riberalta (Beni) y El Sena (Pando) han sido las más estudiadas (Zuidema & Boot 2002, Zuidema 2003, entre otros). Existe información sobre densidades (número de árboles/ha), producción de frutos (kg de castaña en cascara), rendimiento productivo (kg de castaña en cascara/ha) y otros, que se encuentra dispersa y no ha sido publicada (CIPA 2017, Guariguata *et al.* 2017). Las variaciones geográficas de la fenología reproductiva y su relación con el clima

o la diversidad genética de las poblaciones de castaña que crecen en Bolivia son algunas preguntas abiertas. Esta información ayudará a mejorar nuestra comprensión sobre las variaciones en la producción como, por ejemplo, la disminución del 50-55% ocurrida entre los años 2016-2017 (IBCE, ver <http://ibce.org.bo/>) y promover pautas que ayuden a mejorar las prácticas de recolección de los frutos.

Conclusiones

Nuestro estudio confirma que la distribución geográfica de la castaña en Bolivia se encuentra relacionada con los bosques húmedos amazónicos de tierra firme de las subcuencas de los ríos Tahamanu, Yata, Abuná, Acre, Manuripi y Madre de Dios, ocupando cerca de 84 mil km², distribuidas en dos áreas: Heath-Alto Madeira e Iténez. A corto plazo será importante iniciar un programa de monitoreo de las poblaciones de la especie ubicadas en ambas áreas que acompañe el seguimiento anual de la producción y recolección de frutos con registros climáticos localizados. Es importante resaltar que la deforestación ocurrida entre los años 2010 y 2015 ha afectado solo una fracción pequeña del bosque con castaña y de la estimación histórica del número de árboles de castaña (menor al 1% en ambos casos).

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Central de Comunidades Indígenas Tacana II, Río Madre de Dios (CITRMD), organización matriz de la TCO Tacana II y a la Dirección de la Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica Manuripi (RNVSA Manuripi) por autorizar el uso de la información de los censos de castaña realizados en la comunidades de Las Mercedes y El Tigre (TCO Tacana II) y Villa Florida (RNVSA Manuripi), respectivamente. José Argandoña (WWF) y Anahí Llanque

(IPHAE-WWF) proporcionaron información georreferenciada de la especie para el sector de Iténez-Guaporé. Marcos F. Terán, Luis L. Arteaga y dos revisores anónimos comentaron versiones preliminares del manuscrito. ACEAA-Conservación Amazónica agradece a Amazon Conservation Association (ACA) por su apoyo financiero.

Referencias

- Araujo-Murakami, A., A. Poma-Chura, A. Palabral, R. Salvatierra & F. Hurtado. 2012. Composición florística de los bosques amazónicos de tierra firme e inundables en las proximidades de las pampas del Sonene (río Heath), Parque Nacional Madidi, Bolivia. *Kempffiana* 8: 3-21.
- Araujo-Murakami, A., D. Villarroel, G. Pardo, V. Vos, G.A. Parada, L. Arroyo & T. Killeen. 2015. Diversidad arbórea de los bosques de tierra firme de la Amazonia boliviana, Bolivia. *Kempffiana* 11: 1–28.
- Balée, W. 2013. Cultural forests of the Amazonía historical ecology of people and their landscapes. The University of Alabama Press, Tuscaloosa. 265 p.
- Bertwell, T.D., K.A. Kalner, W.P. Cropper Jr., C.L. Staudhammer & L.H. Oliveira. 2017. Are Brazil nut populations threatened by fruit harvest? *Biotropica* DOI: 10.1111/btp.12505
- Cavalcante, M.C., F.F. Oliveira, M.M. Maués & B.M. Freitas. 2012. Pollination requirements and the foraging behavior of potential pollinators of cultivated Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) trees in central Amazon rainforest. *Psyche* 2012: 1-9. <https://www.hindawi.com/journals/psyche/2012/978019/abs/>
- CIPA (Centro de Investigación y Producción para la Amazonía). 2017. Memorias del Conversatorio: Investigación y Monitoreo de la Castaña. CIPA (Centro de Producción e Investigación para la Amazonía), WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza), ACEAA Conservación Amazónica (Asociación Boliviana para la Investigación y Conservación de Ecosistemas Andino-Amazónicos), Cobija. 12 p. https://issuu.com/larrea.alcazar/docs/memoria_conversatorio_castan_a_cip
- Clement, C.R., W.M. Denevan, M.J. Heckenberger, A. Braga, E.G. Neves, W.G. Texeira & W.I. Woods. 2015. The domestication of Amazonia before European conquest. *Proceedings of the Royal Society B* 282: 1-9.
- Cotta, J.N., K.A. Kainer, L.H.O. Wadt & C.L. Staudhammer. 2008. Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. *Forest Ecology and Management* 256: 28–35.
- Cuéllar, S., A. Rodríguez, J. Arroyo, S. Espinoza & D.M. Larrea-Alcázar. 2012. Mapa de deforestación de las tierras bajas y los Yungas de Bolivia 2000-2005-2010. Proyección Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum WGS84, Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), Santa Cruz. 2 p.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudik, M., Chee, Y.E. & C.J. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43-57.
- Feldpausch, T.R., O.L. Phillips, R.J.W. Brienen, E. Gloor, J. Lloyd, G. López-González, A. Monteagudo-Mendoza, Y. Malhi, A. Alarcón, E. Álvarez-Dávila *et al.* 2016. Amazon forest response to repeated droughts. *Global Geochemical Cycles* 30: 1-19.
- IBCE (Instituto Boliviano de Comercio Exterior). 2010. Bolivia líder mundial en exportación de castaña. *Publicación Informativa Comercio Exterior* 19(185): 1-20.
- Gomes, V.H.F, S.D. Ij, N. Raes, I.L. Amaral, R.P. Salomão, L. de Souza Coelho,

- F.D. Almeida Matos, C.V. Castilho, D. de Andrade, D. Cárdenas López *et al.* 2018. Species distribution modelling: contrasting presence-only models with plot abundance data. *Scientific Reports* 8: 1003 DOI:10.1038/s41598-017-18927-1.
- Guariguata, M.R., P. Cronkleton, A.E. Duchelle & P.A. Zuidema. 2017. Revisiting the "cornerstone of Amazonian conservation": a socioecological assessment of Brazil nut exploitation. *Biodiversity and Conservation* 26: 2007-2027.
- Haugaasen, J.M.T., T. Haugaasen, C.A. Peres, R. Gribel & P. Wegge. 2012. Fruit removal and natural seed dispersal of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in Central Amazonia, Brazil. *Biotropica* 44: 205-210.
- Hernández P.A., I. Franke, S.K. Herzog, V. Pacheco, L. Paniagua, H.L. Quintana, A. Soto, J.J. Swenson, C. Tovar, T.H. Valqui, J. Vargas & B.E. Young. 2008. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity and Conservation* 17: 1353-1366.
- Hijmans, R.S., S.E. Camerón, J. L. Parra, P.G. Jones & A. Jarvis 2005. Very high resolution interpolated climate surface for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Larrea-Alcázar, D.M., A. Poma & R.P. López. 2016. Estructura diamétrica y distribución espacial de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae) en la TCO Tacana II, norte de La Paz, Bolivia. *Kempffiana* 12: 3-15.
- Llanos, E. 2008. Composición florística y estructura de un bosque de tierra firme e inundable en la estación biológica Tahuamanu, noroeste de la Amazonía boliviana. Cobija. Tesis de licenciatura en biología, Universidad Amazónica de Pando, Cobija. 125 p.
- Manceur, A.M. & I. Kühn. 2014. Inferring model-based probability of occurrence from preferentially sampled data with uncertain absences using expert knowledge. *Methods in Ecology and Evolution* 5: 739-750.
- Mayle, F.E. 2004. Assessment of the Neotropical dry forest refugia hypothesis in the light of palaeoecological data and vegetation model simulations. *Journal of Quaternary Science* 19: 713-720.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua/Centro de Biodiversidad y Genética. 2017. Libro Rojo de la Flora Amenazada de Bolivia: Vol. II. Tierras Bajas, La Paz. 708 p.
- Mori, S.A. & G.T. Prance. 1990. Taxonomy, ecology, and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb and Bonpl.: Lecythidaceae). *Advances in Economic Botany* 8: 130-150.
- Müller, R. & J.C. Montero. 2015. Estudio sobre posibles impactos ecológicos y socioeconómicos de la ampliación de la frontera agrícola en las tierras bajas de Bolivia. Reporte Técnico, MMAyA-DGBAP-FAO, La Paz. 68 p.
- Müller, R., D. Müller, F. Schierhorn, G. Gerold & P. Pacheco. 2012. Proximate causes of deforestation in the Bolivian lowlands-an analysis of spatial dynamics. *Regional Environmental Change* 12: 445-459.
- Müller, R., D.M. Larrea-Alcázar, S. Cuéllar & S. Espinoza. 2014. Causas directas de la deforestación reciente (2000-2010) y modelado de dos escenarios futuros en las tierras bajas de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 49: 20-34.
- Myers, T.P., W.M. Denevan, A. Winklerprins & A. Porro. 2003. Historical Perspectives on Amazonian Dark Earths. pp. 15-28. En: Lehmann, J., D.C. Kern, B. Glaser & W.I. Woods (eds.) *Amazonian Dark Earths Origin Properties Management*. Kluwer Academic Publishers. Springer Science, Nueva York.
- Navarro, G. 2002. Vegetación y unidades biogeográficas. pp. 1-500. En: Navarro, G. & M. Maldonado (eds.) *Geografía ecológica de Bolivia*. Centro de Ecología y Difusión Simon I. Patiño, Santa Cruz.

- Navarro, G. 2011. Clasificación de la vegetación de Bolivia. Centro de Ecología y Difusión Simon I. Patiño, Santa Cruz. 713 p.
- Navarro, G. & W. Ferreira. 2009. Biogeografía y mapa biogeográfico de Bolivia. pp. 23-29. En: VMABCC-Biodiversity International, Libro Rojo de Parientes Silvestres de Cultivos de Bolivia. Plural Editores, La Paz.
- Olson, D.M., E. Dinerstein, E.D. Wikramanaya, N.D. Burgess, G.V.N. Powell, E.C. Underwood, J.A. D'Amico, I. Itoua, H.E. Trand, J.C. Morrison, C.J. Loucks, T.F. Allnut, T.H. Ricketts, Y. Kura, J.F. Lamoreax, W.W. Wettengel, P. Hedao & K.R. Kassem. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on earth. *BioScience* 51: 933-938.
- Ortíz, E. 2002. Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). pp 61-74. En: Shanley, P., A.R. Pierce, S.A. Laird & A. Guillen A (eds). Tapping the Green Market: Certification and Management of Non-Timber Forest Products. Earthscan, Londres.
- OTCA-MMAyA (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica-Ministerio de Medio Ambiente y Aguas). 2016. Memoria Técnica de la Deforestación 2014-2015. Equipo Sala Observación Bolivia OTCA, La Paz. 35 p.
- Poma, A. 2007. Estructura y composición florística de dos parcelas permanentes en el bosque amazónico de tierra firme e inundable en el norte del Parque Nacional Madidi, La Paz. Tesis de licenciatura en agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 107 p.
- Peres, C.A. & C. Baider. 1997. Seed dispersal, spatial distribution and population structure of Brazilnut trees (*Bertholletia excelsa*) in southeastern Amazonia. *Journal of Tropical Ecology* 13: 595-616.
- Peres, C.A., L.C. Schiesari & C.L. Dias-Leme. 1997. Vertebrate predation of Brazil-Nuts (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae), an agouti-dispersed Amazonian seed crop: a test of the escape hypothesis. *Journal of Tropical Ecology* 13: 69-79.
- Pearson R.G., Raxworthy C.J., Nakamura M. & A.T. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34:102-117.
- Phillips, S.J., R.P. Anderson & R.E. Schapired. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Phillips, S.J. & M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- PROCISUR-IICA (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico del Cono Sur). 1997. Mapeo tecnológico de cadenas agroalimentarias en el Cono Sur. Montevideo. 278 p.
- Quesada, C.A., O.L. Phillips, M. Schwarz, S. Czimczik, T.R. Baker, S. Patiño, N.M. Fyllas, M.G. Hodnett, R. Herrera, S. Almeida, et al. 2012. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. *Biogeosciences* 9: 2203-2246.
- Quiroz, G., V. Vos, L.A. Moreno & E.F. Cárdenas. 2017. Castaña, condiciones laborales y medio ambiente. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado, Santa Cruz. 123 p.
- Read, J.M. & N.S.M. Lam. 2002. Spatial methods for characterising land cover and detecting land-cover changes for the tropics. *International Journal of Remote Sensing* 23: 2457-2474.
- Rockwell, C.A., M.R. Guariguata, M. Menton, E. Arroyo Quispe, J. Quaadvlieg, E. Warren-Thomas, H. Fernandez, E. Jurado, J.A. Hideki, J.A. Meza JA, O. Revilla, R. Quenta, J.F. Valera, B. Villarroel & J.J. Yucra. 2015. Nut production in *Bertholletia excelsa* across a logged

- forest mosaic: implications for multiple forest use. *PLoS ONE* 10(8): e0135464. doi:10.1371/journal.pone.0135464
- Santos, C.F. & M.L. Absy. 2010. Polinizadores de *Bertholletia excelsa* (Lecythidales: Lecythidaceae): interações com abelhas sem ferrão (Apidae: Meliponini) e nicho trófico. *Neotropical Entomology* 39: 854-861.
- Seiler, C., Hutjes R.W.A. & P. Kabat. 2013. Likely ranges of climate change in Bolivia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 52: 1303-1317.
- Seiler, C., Hutjes, R.W.A., Kruijt, B., Añez, S., Melton, J.R., Hickler, T. & P. Kabat. 2014. Modeling forest dynamics along climate gradients in Bolivia. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 119: 758-775.
- Shepard, G.Jr. & H. Ramírez. 2011. "Made in Brazil": human dispersal of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) in ancient Amazonia. *Economic Botany* 65: 44-65.
- Stoian, D. 2004. Cosechando lo que cae: La economía de la castaña (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) en la Amazonía boliviana. pp. 89-115. En: Alexiades, M.N. & P. Shanley (eds.) *Productos Forestales, Medios de Subsistencia y Conservación*. Vol. 3. América Latina. CIFOR (Center for International Forestry Research), DFID (Department for International Development), Yakarta.
- Sujii, P.S., K. Martins, L.H.O. Wadt, V.C.R. Azevedo & V.N. Solferini. 2015. Genetic structure of *Bertholletia excelsa* populations from the Amazon at different spatial scales. *Conservation Genetics* 16: 955-964.
- Thomas, E., C. Alcázar, J. Loo & R. Kindt. 2014. The distribution of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) through time: from range contraction in glacial refugia, over human-mediated expansion, to anthropogenic climate change. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 9: 267-291.
- Thomas, E., C. Alcázar, C.H. McMichael, R. Corvera & J. Loo. 2015. Uncovering spatial patterns in the natural and human history of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) across the Amazon Basin. *Journal of Biogeography* 42: 1367-1382.
- Wallace, R., H. Gómez, Z.R. Porcel & D.I. Rumiz (eds.). 2010. *Distribución, ecología y conservación de mamíferos medianos y grandes de Bolivia*. Centro de Ecología y Difusión Simon I. Patiño, Santa Cruz. 906 p.
- Zenteno, M., P.A. Zuidema, W. de Jong & R.G.A. Boot. 2013. Livelihood strategies and forest dependence: New insights from Bolivian fore communities. *Forest Policy and Economics* 23: 12-21.
- Zuidema, P.A. 2003. Ecology and management of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*), PROMAB (Programa Manejo de Bosques de la Amazonia Boliviana) Scientific Series 6. PROMAB, Riberalta. 118 p.
- Zuidema, P.A. & R.G.A. Boot. 2002. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. *Journal of Tropical Ecology* 18: 1-31.

Manejado por Blanca León
Recibido en: 22 noviembre 2017
Aceptado en: 9 febrero 2018