

Regeneración natural de la vegetación como base para el desarrollo de estrategias de restauración ecológica en tres Biotopos protegidos en la Reserva de Biosfera Maya, Guatemala

Manolo García*, Jessica López, María Ramírez

Centro de Estudios Conservacionistas, Facultad de Ciencias Química y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

*Autor al que se dirige la correspondencia: garcia.manolo@usac.edu.gt

Recibido: 22 de abril 2015 / Revisión: 4 de mayo de 2015
Aceptado: 17 de junio 2015 / Disponible en línea: 01 de julio de 2015

Resumen

Los ecosistemas naturales de la Reserva de Biosfera Maya contienen una alta diversidad biológica que brinda bienes y servicios ambientales a la sociedad, por lo que su conservación es estratégica para el desarrollo local y regional. Sin embargo, se presenta la tendencia a la perturbación de estos ecosistemas como consecuencia de las actividades humanas, siendo necesario el desarrollo de estrategias que minimicen los impactos negativos y permitan la recuperación de ecosistemas naturales degradados. La información existente sobre el funcionamiento de procesos ecológicos esenciales de los ecosistemas locales es escasa y se halla dispersa, limitando el desarrollo de estrategias. Se planteó estudiar la dinámica de la regeneración natural de la vegetación como fundamento para la definición de estrategias de restauración ecológica en tres biotopos protegidos de Petén y zonas adyacentes, mediante la caracterización de la estructura y composición de la vegetación en seis categorías de regeneración natural y bosque sin perturbación reciente. Se trazaron dos parcelas modificadas de Whitaker de 0.1 ha por categoría y se colectaron muestras del banco de semillas. Con esta información se desarrolló un marco conceptual de la regeneración natural para ser aplicado en estrategias de restauración a escalas local y de paisaje.

Palabras claves: Sucesión secundaria, diversidad biológica, flora, conectividad funcional potencial

Abstract

The natural ecosystems of the Maya Biosphere Reserve contain high levels of biodiversity providing environmental goods and services to society, so their conservation is strategic for local and regional development. However, there is an increasing tendency to disturb these ecosystems as a result of human activities, so it is necessary to develop strategies that minimize the negative impacts and allow the recovery of degraded natural ecosystems. Existing information on the functioning of essential ecological processes of local ecosystems is sparse and is scattered, limiting the development of strategies. It was proposed to study the dynamics of natural regeneration of vegetation as a basis for defining strategies of ecological restoration in three protected biotopes in Peten and adjacent areas, by characterizing the structure and composition of vegetation in six categories of natural regeneration and forest without recent disturbance. Two modified Whitaker 0.1 ha plots were plotted by category and seed bank samples were collected. With this information a conceptual framework of natural regeneration was developed for application in restoration strategies at local and landscape scales.

Keywords: Secondary succession, biodiversity, flora, functional connectivity, integral connectivity index



Introducción

Los sistemas naturales y la diversidad biológica presente en estos, proveen a la sociedad una gran variedad de bienes y servicios ambientales —regulación hídrica, regulación del clima, polinizadores, dispersores, entre otros—, los cuales son esenciales para el desarrollo y bienestar de las poblaciones humanas (Latterra, Jobbágy, & Paruelo, 2011). En la actualidad, a nivel mundial, la mayoría de los sistemas naturales se hayan perturbados como consecuencia de actividades antrópicas (Wildlife Conservation Society & Center for International Earth Science Information Network [WCS-CIESIN], 2005). Esta perturbación puede conducir a la pérdida de diversidad biológica y por lo tanto a la disminución en calidad y cantidad de bienes y servicios ambientales, amenazando la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras.

La denominada Selva Maya, compartida por Guatemala, México y Belice, ha sido identificada como un sitio con mayor diversidad biológica en Mesoamérica (The Nature Conservancy, 2006). Sin embargo, se presenta la tendencia a la disminución de la cobertura forestal en esta región, incluyendo la Reserva de Biosfera Maya (RBM) en Guatemala, donde se presenta pérdida de cobertura forestal dentro de zonas núcleo, zona de usos múltiples (ZUM) y zona de amortiguamiento (ZAM), ocasionando como resultado la presencia de distintos grados de perturbación dentro de la reserva (Hansen et al., 2013; Hodgson, Hughell, Ramos, & McNab, 2015). Los Biotopos Protegidos de Petén, zonas núcleo de la RBM administradas por la Universidad de San Carlos a través del Centro de Estudios Conservacionistas (CECON), no son la excepción, ya que, en el mapa de cambios en el uso de la tierra 2001-2010 para Guatemala desarrollado por el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (2014), se aprecia la pérdida de cobertura dentro de sus límites durante ese período, así como en áreas aledañas en la ZAM, ZUM y afuera de la RBM.

Dado el alto grado de degradación existente en todas las zonas de la RBM, se hace necesario el desarrollo de estrategias de restauración ecológica para la recuperación de las áreas que lo requieran. Sin embargo, es necesario contar con información sobre las características de la vegetación y procesos asociados como la lluvia y el banco de semillas en las diversas etapas de la sucesión secundaria de los ecosistemas locales, para implementar estrategias concretas de manejo y restauración de los sistemas ecológicos naturales y

productivos, tanto a nivel local como regional. Contar con información sobre la dinámica de la regeneración natural a través de la investigación científica, puede aportar conocimientos que pueden ser aplicados como fundamento científico en el desarrollo de estrategias de restauración adaptadas a las condiciones locales.

Los objetivos específicos de este estudio fueron: (1) describir la estructura y la composición de la vegetación en seis condiciones de regeneración natural y el bosque sin perturbación reciente, y (2) desarrollar un marco conceptual de la regeneración natural de la vegetación como base para el desarrollo de estrategias de restauración ecológica para los Biotopos Naachtún Dos Lagunas, San Miguel La Palotada El Zotz y Cerro Cahú.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en los biotopos protegidos San Miguel La Palotada El Zotz (BSMPZ), Naachtún Dos Lagunas (BNDL) y Cerro Cahú (BICC) (Figura 1). El trabajo de campo para la toma de datos se realizó en los meses de marzo a agosto del 2014. Se seleccionaron dos sitios de muestreo para cada una de las siete categorías de regeneración natural a estudiar con base en el tiempo transcurrido posterior a la última perturbación: (1) área con regeneración entre 10 y 20 años, (2) con regeneración entre 5 y 10 años, (3) con regeneración entre 2 a 5 años, (4) con regeneración en trocopas (camino que fueron utilizados para el aprovechamiento de madera previo a la declaración de los Biotopos) entre 2 y 5 años, (5) regeneración en trocopas de 1 año, (6) con regeneración de 1 año en sitio abierto (cultivo reciente), y (7) bosque sin perturbación reciente (> 50 años). Para esta última categoría se seleccionaron de uno a dos sitios de muestreo en cada Biotopo, sumando un total del 18 parcelas en las cuales se tomaron datos.

En cada sitio de muestreo se trazó una parcela modificadas de Whitaker de 0.1 ha, en la cual se registraron y cuantificaron los individuos de los estratos arbóreo, arbustivo, subarbustivo y herbáceo utilizando parcelas anidadas de 50 x 20 m (una parcela), 20 x 5 m (una subparcela), 5 x 2 m (dos subparcelas), 2 x 0.5 m (10 subparcelas), respectivamente (Figura 2). Para el estrato arbóreo se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), se estimaron las alturas y registraron los nombres vernáculos con ayuda de guarda recursos del CECON, para todos los individuos con un DAP > 10 cm ubicados dentro de la parcela. Los otros estratos se definieron con

base al DAP: arbustivo (5-10 cm), subarbustivo (tallo leñoso < 5 cm) y herbáceo (tallo no leñoso < 2 cm), y solamente se contabilizó el número de individuos presentes dentro de las subparcelas. Para las categorías de trocopas, se modificaron las dimensiones de la parcela a 2 m x 500 m para hacerla coincidir con el ancho de los caminos manteniendo el área total de 0.1 ha. Las subparcelas fueron adaptadas a las nuevas dimensiones. Se tomaron muestras de las especies de plantas de los estratos no arbóreos. Las muestras de vegetación fértiles fueron determinadas por el botánico J. Linares del herbario del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA) de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, como apoyo del herbario Universidad de San Carlos de Guatemala (USCG) del CECON donde fueron depositadas. Las muestras no fértiles únicamente se utilizaron como referencia para asignar códigos de morfoespecies, siendo este el caso para la mayoría de muestras del estudio.

Se obtuvo una muestra del banco de semillas en cada sitio, compuesta de 10 sub-muestras de suelo colectadas en puntos definidos, utilizando las parcelas anidadas como referencia (Figura 2). Previamente se removió la hojarasca y se registró la composición general del humus, así como su altura en centímetros. Las muestras de suelo se colectaron utilizando un cilindro de 7.62 cm de diámetro y una profundidad de 15 cm o al alcanzar la roca. Cada muestra fue cernida en redes metálicas de aproximadamente 0.2 cm de luz, utilizando agua a presión para la separación de las semillas de ramas, conchas de caracoles, piedras y sustrato. Las semillas fueron clasificadas en morfoespecies y cuantificadas por muestra. El registro de las mismas fue a través de imágenes digitales, como referencia para otros estudios, ya que las semillas no poseían las condiciones para ser ingresadas a una colección de referencia.

Como insumo para el desarrollo de estrategias de restauración ecológica, se realizaron análisis de agrupamiento jerárquico, que sirvieron como base para la formulación de un marco conceptual de la generación natural de la vegetación. Asimismo, como insumos para la planificación a escala de paisaje, se generó un mapa de áreas prioritarias para la restauración ecológica en la ZAM de la RBM, en el área ubicada entre los BICC y BSMPZ, de acuerdo a su aporte en la conectividad funcional. Para lo cual se utilizó como base el mapa de cobertura y uso del suelo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA, 2006), a partir del cual se extrajeron los polígonos de áreas bajo las clasificaciones de bosque y matorral y montes bajos.

Posteriormente, se calculó el diferencial del índice de importancia de conectividad (dIIC) para cada polígono de bosque, utilizando el programa Conefor Sensinode 2.5.8 beta (Pascual-Hortal & Saura, 2006), promediando el valor de distintas distancias umbral (100 m, 500 m, 1,000 m y 5,000 m). Este índice estima la contribución de cada polígono en la conectividad total del sistema con base a: su conectividad interna, su contribución como elemento conector *stepping stones* y su potencial de conexión con otras áreas, utilizando como referencia un distancia umbral, que representa la capacidad de dispersión de la especie evaluada, asignando un valor de dIIC a cada polígono, el cual al ser mayor indica un incremento en la contribución. En este caso, las distancias evaluadas, representan especies o grupos de especies hipotéticas con distintas capacidades de dispersión. Adicionalmente, las áreas de matorral y montes bajos, que representan bosques secundarios, se incluyeron en el análisis utilizando la opción que permite evaluarlos como áreas potenciales a restaurar.

Resultados

Se registraron 519 especies (173 con identidad taxonómica + 346 morfoespecies) de plantas en las seis condiciones de regeneración y el bosque sin perturbación reciente. El tratamiento de bosque sin perturbación reciente presentó el mayor número de morfoespecies (473), y el tratamiento de 1 año el menor número (143) (Tabla 1). En los tratamientos de 2-5 años y de 5-10 años se registraron especies exóticas que fueron plantadas por antiguos pobladores, las cuales permanecieron en los terrenos al ser abandonadas las zonas residenciales y agrícolas. Las especies registradas fueron: aguacate (*Persea* sp.), nance (*Brysonimia* sp.), jocote de corona (*Spondias purpurea*), coco (*Cocos nucifera*), limón (*Citrus aurantifolia*) y ornamentales: izote (*Yucca* sp.) y *Caesalpinia pulcherrima* (nombre común desconocido en la zona). Otras especies exóticas registradas afuera de las parcelas fueron pastos cultivados en potreros abandonados y el helecho chispa (*Pteridium*) en áreas agrícolas que han sido quemadas.

En cuanto a la estructura vertical, en los tratamientos de 1 año y los trocopas, solamente se presentan los estratos, herbáceo y subarbustivo, mientras que en el resto de tratamientos se presentan todos los estratos. Se registraron los siguientes valores promedio de altura y DAP en los distintos tratamientos, siendo el Bosque sin perturbación reciente el que presenta los mayores valores promedio 14.7 (7.4) m y 20.2 (19.0) cm respectivamente

Tabla 1.

Número de morfoespecies por estrato para seis categorías de regeneración natural y bosque sin perturbación reciente.

Categoría	Arbóreo	Arbustivo	Subarbustivo	Herbáceo	Total
Bosque sin perturbación reciente (> 50 años)	93	26	62	292	473
Regeneración 10 - 20 años	54	13	22	174	263
Regeneración 5 - 10 años	8	12	34	121	175
Regeneración 2 - 5 años	14	6	28	108	156
Regeneración 1 año	--	--	28	115	143
Trocopas 1 año	--	--	13	104	117
Trocopas 2-5 años	--	--	25	93	118

(Tabla 2). Se registraron un total de 374 semillas correspondientes a 79 morfoespecies en el banco de semillas (Tabla 3). El bosque sin perturbación reciente presentó el mayor número de morfoespecies (24) y el trocopas de 1 año el menor número (10).

Para el análisis de agrupamiento jerárquico con respecto a la composición y presencia/ausencia de la

vegetación, se presenta un agrupamiento general de las parcelas que se diferencia del tratamiento de regeneración de 1 año en el BICC, con dos agrupaciones mayores que se diferencian del tratamiento trocopas de 1 año (Figura 3). El primer grupo incluye a las parcelas de bosque sin perturbación reciente, dos parcelas con regeneración > 10 años y el tratamiento de trocopas

Tabla 2.

Valores promedio de diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura del estrato arbóreo por categoría.

Categoría	Promedio de altura (m)	Promedio de DAP	Suma de área basal (cm ²)
Bosque sin perturbación reciente (> 50 años)	14.7 (7.4)	20.2 (19.0)	221,801.3
Regeneración 10 - 20 años	10.8 (4.3)	16.8 (6.0)	45,534.6
Regeneración 5 - 10 años	9.9 (2.7)	18.5 (5.0)	3,725.3
Regeneración 2 - 5 años	9.1 (3.1)	16.2 (7.8)	6,813.7

Tabla 3.

Características del banco de semillas por categoría.

Categoría	Altura promedio de humus (m)	Composición del humus	Total de morfoespecies
Bosque sin perturbación reciente (> 50 años)	4.4	Hojas secas y algunas ramas	24
Bosque en regeneración 10 - 20 años	4.2	Hojas secas	11
Bosque en regeneración 5 - 10 años	3.5	Hojas secas	15
Bosque en regeneración 2 - 5 años	3.4	Hojas secas	15
Bosque en regeneración < 1 año	0.5	Restos vegetales	15
Trocopas (1 año)	2.8	Hojas secas	10
Trocopas (2 - 5 años)	2.4	Hojas secas	22

de 2 - 5 años (Grupo 1, Figura 3); el segundo grupo incluye los tratamientos de regeneración de 1 año, 2 - 5 años, 5 - 10 años y > 10 años (Grupo 2, Figura 3). Y en el análisis de agrupamiento jerárquico con respecto a la estructura (número de individuos, altura promedio, altura máxima, DAP promedio y sumatoria de las áreas basales) se observan dos agrupaciones generales (Figura 4). El primer grupo incluye parcelas de bosque sin perturbación reciente y parcelas con regeneración > 10 años, 5-10 años y de 2 - 5 años (Grupo 1, Figura 4) y el segundo grupo incluye las parcelas con bosque sin perturbación reciente del BSMPZ y una parcela del BNDL (Grupo 2, Figura 4).

A partir del análisis de datos, se integró un marco conceptual de la regeneración natural de la vegetación para el área de estudio (Figura 5). Este marco conceptual incluye fases de sucesión secundaria que implican distintas etapas que conllevan a un reemplazo de especies, iniciando con una colonización por especies herbáceas y subarborescentes pioneras que incluyen cordoncillos (*Piper* spp.) y chichipín (*Hamelia patens*) entre otras, seguida por el crecimiento de especies ar-

bustivas y arbóreas pioneras como guarumo (*Crecopia* spp.), huela de noche (*Aegephila monstrosa*) y caulote o pishoy (*Guazuma ulmifolia*). Posteriormente, ocurre el reemplazo por especies arbustivas y arbóreas como chacaj (*Bursera simaruba*), jobo (*Spondias mombin*), yaxnic (*Vitex gaumeri*), mano de león (*Dendropanax arboreus*) y chechén negro (*Metopium brownei*), y en el largo plazo se asume una transición hacia el bosque sin perturbación reciente, incluyendo especies arbóreas como ramón (*Brosimum alicastrum*), chicozapote (*Manilkara zapota*), y zapotillos (*Pouteria* spp.), y en los estratos inferiores abundantes palmas de la familia Arecaceae como xate (*Chamaedorea* sp.), guano (*Sabal* spp.), entre otras.

En el análisis de conectividad funcional potencial, se calculó el diferencial del diIC para remanentes de bosque y matorrales y montes bajos, como áreas potenciales a restaurar (Figura 6). Las áreas con un diIC más alto, y por lo tanto con mayor importancia para la conectividad funcional, corresponden al bloque conformado por el Parque Nacional Tikal, la Reserva Comunitaria

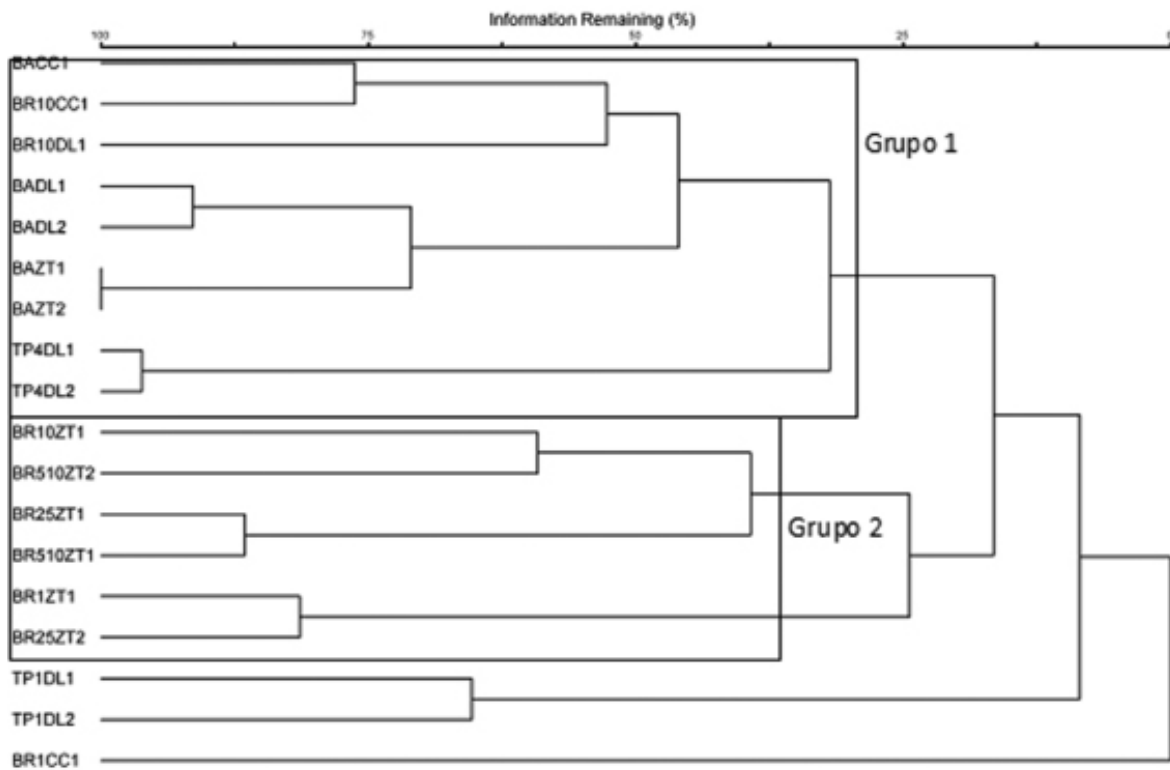


Figura 3. Diagrama de agrupamiento jerárquico de los sitios de muestreo con respecto a la composición (presencia/ausencia) de la vegetación. BA = bosque sin perturbación reciente, BR = bosque en regeneración, TP = trocopas, CC = BICC, ZT = BSMPZ y DL = BNDL.

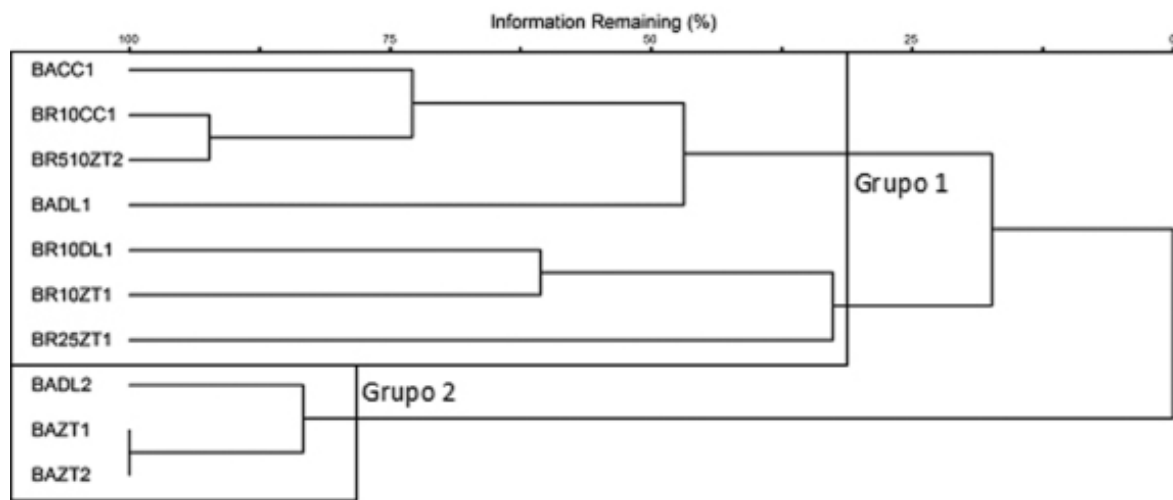


Figura 4. Diagrama de agrupamiento jerárquico de los sitios de muestreo con respecto a la estructura del estrato arbóreo. BA = bosque sin perturbación reciente, BR = bosque en regeneración, TP = trocopas, CC = BICC, ZT = BSMPZ y DL = BNDL.

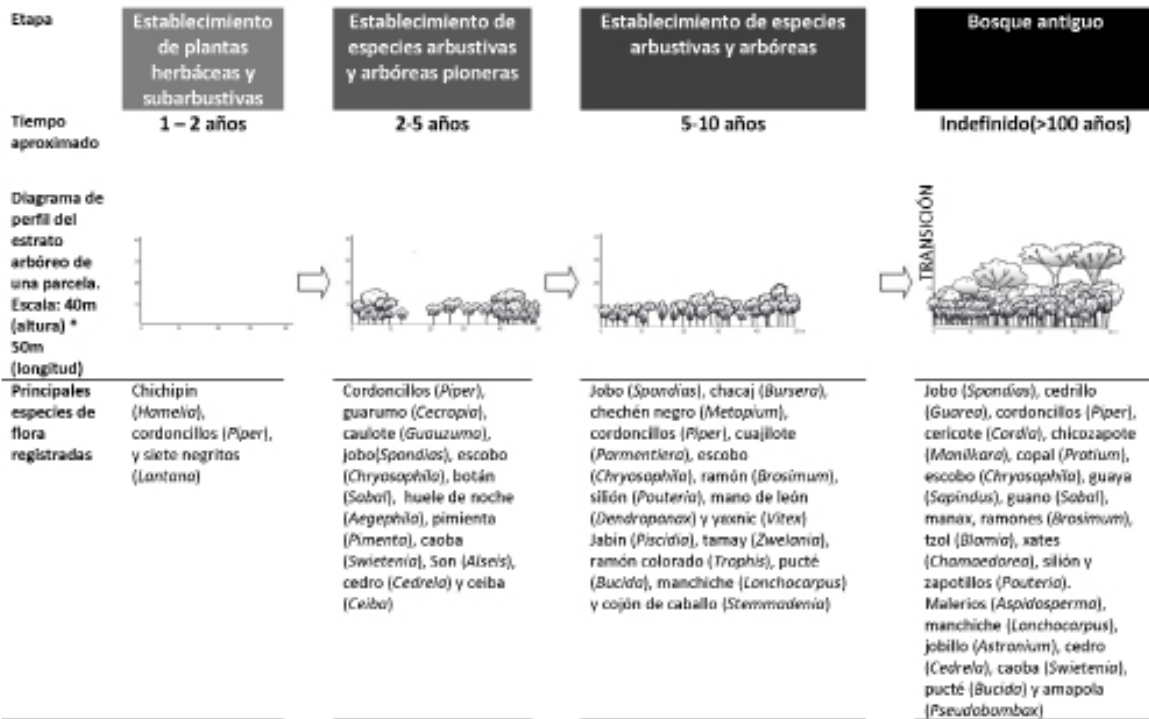


Figura 5. Diagrama del marco conceptual de la regeneración natural de la vegetación en tres Biotopos protegidos en la RBM.

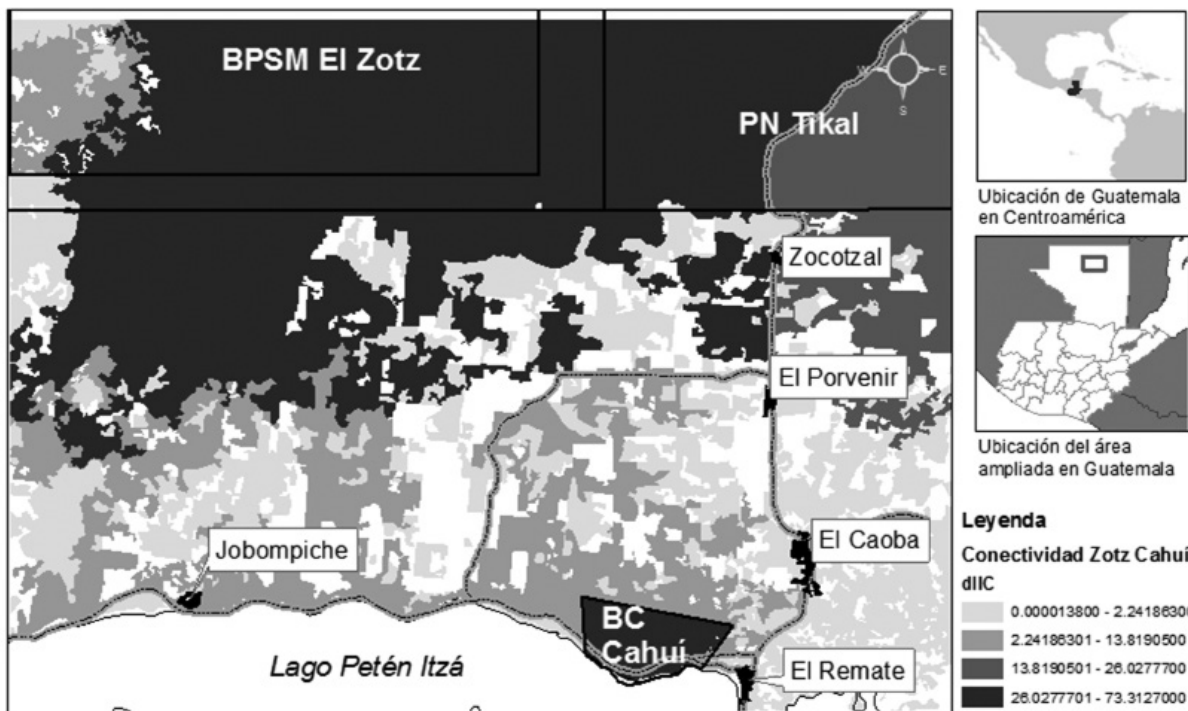


Figura 6. Mapa mostrando los valores de diferencial del índice integral de conectividad (dIIC) para los fragmentos de bosque y áreas de matorral como sitios potenciales a ser restaurados entre los Biotopos Cerro Cahui y San Miguel La Palotada El Zotz.

Indígena BioItzá y la zona sur del BSMPZ. Le siguen en importancia, áreas perturbadas con bosques secundarios en el SO del BSMPZ, áreas con remanentes y bosques secundarios aledaños al BICC, y remanentes de bosque en la orilla norte del lago Petén Itzá.

Discusión

La composición de la vegetación en las distintas etapas de regeneración natural y bosques poco perturbados es similar a otros estudios florísticos realizados en la RBM (Bámaca, 2000; Ixcot et al., 2005; Manzanero, 1999; Morales, 2003; Rodas, 1998; Rodas, 2005; Sandoval, 1999; Schulze & Whitacre, 1999). De manera similar a estudios realizados en bosques tropicales en Costa Rica, Panamá y Venezuela, los resultados del presente estudio permiten la clasificación de etapas de regeneración natural posterior a la existencia de perturbaciones, basadas en la estructura y composición de la vegetación (Fournier & Herrera, 1977; Howorth & Colonnello, 2004; Mendieta, Espino, & Ramos, 2010). Asimismo, esta investigación muestra una tendencia

en la cual, conforme transcurre un período mayor de tiempo, la composición y estructura de la vegetación se hace más compleja, con aumento del número de especies e individuos del estrato arbóreo y de los aspectos fisionómicos, así como con el reemplazo de especies herbáceas y subarborescentes pioneras por arbustivas y arbóreas pioneras, y estas por especies arbustivas y arbóreas de vida larga (Chazdon et al., 2010; Yepes & Villa, 2010).

La estructura registrada y la dominancia de estratos para las distintas etapas de regeneración natural, así como la dinámica propuesta en el marco conceptual, es similar con lo reportado para bosques tropicales en la región (Chazdon et al., 2010; Fournier & Herrera, 1977; Guariguata & Ostertag, 2001; Kennard, 2002; Mendieta et al., 2010). La composición puede presentar una mayor variación con respecto a otros sitios, pero se presentan similitudes en la dominancia y recurrencia de géneros y familias, como el caso del género *Cecropia* presente en bosques secundarios en distintas localidades en la región (Fournier & Herrera, 1977; Guariguata & Ostertag, 2001).

La falta de un catálogo de referencia de semillas de la flora de la RBM fue una limitante para la identificación taxonómica de las semillas encontradas en las muestras de suelo, y la metodología no permitió determinar la viabilidad de las mismas; sin embargo los resultados encontrados sugieren que el banco de semillas podría tener un papel importante en la dinámica de la regeneración natural, especialmente en áreas de bosque sin perturbación reciente, a donde se registró una mayor diversidad de morfoespecies.

Este estudio generó conocimiento sobre la estructura y composición de la vegetación en distintas etapas de la regeneración natural, por lo que, como siguiente paso en esta línea de investigación, se recomienda el desarrollo de estudios que permitan determinar factores ecológicos y climáticos que pueden tener una influencia positiva o negativa en el desarrollo sucesional; así como estudios sobre los posibles efectos del cambio climático, con el fin de asegurar el éxito en proyectos de restauración ecológica en el largo plazo (Villalobos, 2012).

A partir de las poblaciones de especies de flora y fauna presentes en los biotopos universitarios, se asume un elevado potencial para la regeneración natural (Ixcot et al., 2005; Jerez et al., 2014), por lo que se espera que las áreas que han sido degradadas dentro de los mismos, logren su recuperación una vez se suspendan las fuentes de presión. Sin embargo, en áreas fuera de los biotopos se hace necesario el desarrollo e implementación de estrategias y planes de acción de restauración ecológica, donde se haya perdido el potencial natural de regeneración.

Para la restauración ecológica integral es necesaria la planificación a escala de paisaje, ya que, es a este nivel, que puede plantearse un ordenamiento espacial del territorio de modo que se optimice su potencial natural (Galindo-González, Guevara, & Sosa, 2000; Lamb, Erskine, & Parrotta, 2005). De esta manera es posible orientar la restauración hacia la funcionalidad del paisaje, tanto en áreas de conservación como en áreas agrícolas y pecuarias, considerando a su vez la naturaleza dinámica del paisaje, cuyos cambios responden a factores naturales, pero principalmente a factores sociales (Organización Internacional de las Maderas Tropicales, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [OIMT/UICN], 2005).

Debido a los escasos recursos con los que se cuenta para el desarrollo e implementación de programas de restauración ecológica, se debe priorizar la restauración

ecológica de áreas donde exista la oportunidad de tener un mayor impacto en la conservación de la diversidad biológica, donde hayan ocurrido fallas en el funcionamiento del sistema y oportunidades de mejorar el bienestar humano (OIMT, 2002). Los análisis de conectividad realizados para el área de estudio a través del dIIC pueden aplicarse como un criterio útil para identificar las áreas a restaurar con un mayor impacto ecológico, a través de su contribución para aumentar la conectividad funcional del paisaje. Considerando que, cada parche está relacionado con la matriz que lo rodea, su área y el porcentaje de cobertura en su interior, es necesario planificar la conservación de los remanentes de bosque a escala del paisaje (Sisk, Haddad, & Ehrlich, 1997).

La conservación de grandes remanentes y parches de vegetación natural dentro de un paisaje agrícola y pecuario favorece la restauración ecológica, reduce los costos y el tiempo de la regeneración natural, mejora la provisión de servicios ecosistémicos; a la vez que, aumenta el valor de conservación de las tierras agrícolas y las ganancias económicas, y mejora los recursos sociales y educativos (Lamb et al., 2005; Martínez-Ramos & García-Orth, 2007; Rey, Bullock, & Newton, 2008). A partir de lo anterior y utilizando el criterio de aporte a la conectividad del dIIC, las áreas de bosque prioritarias para su conservación en el área de análisis, son el denominado bloque Zotz-Tikal-BioItzá, el BICC y remanentes boscosos en la ribera norte del lago Petén Itzá. La conservación de estas áreas puede mejorar potencial de regeneración natural y restauración ecológica en áreas aledañas que han sido degradadas.

Por su parte, a través de una ordenación y manejo de los bosques secundarios existentes en el paisaje de la ZAM, se puede potencializar la restauración ecológica, siendo una buena opción para la rehabilitación de tierras forestales degradadas (García-Velásquez, Ríos-Quintana, & Molina-Rico, 2010; OIMT, 2002). Los bosques secundarios y remanentes pueden ser una alternativa para la obtención de semillas y plántulas a utilizar en programas de restauración ecológica, aumentando el éxito con individuos ya adaptados al entorno (Azpilicueta, Gallo, Pastorino, & Lozano, 2011). Otro beneficio del manejo de bosques secundarios y degradados en la RBM, es que pueden representar una fuente de especies útiles y medicinales, así como una importante alternativa para programas de captación de carbono, lo cual puede brindar beneficios económicos para la conservación y programas de manejo (Hernández, 1997; Lemus, 1999; MacVean, 2003; OIMT, 2002; Tax, 2005).

Para el área de estudio, de acuerdo con el dIIC, las áreas de bosques secundarios prioritarias son las ubicadas en el SO del BSMPZ, y en la ZAM en la ruta entre el BICC y el Parque Nacional Tikal. En estas áreas se recomienda el desarrollo de actividades experimentales de manejo de bosques secundarios como insumos para el desarrollo de estrategias concretas que involucren el manejo y aprovechamiento de los mismos.

Un elemento importante a considerar en las estrategias de restauración ecológica de la RBM son los incendios forestales, ya que sin el control adecuado de los mismos es difícil tener éxito por la poca sobrevivencia de plántulas de árboles y arbustos a este fenómeno (Aide & Cavelier, 1994). Se ha documentado que aún cuando otras barreras a la restauración hayan sido superadas, el efecto negativo de los incendios puede hacer fracasar proyectos de restauración (Hooper, Condit, & Legendre, 2002).

La aplicación de estrategias de restauración ecológica basadas en el conocimiento de la dinámica de la regeneración natural de ecosistemas locales puede ser una herramienta efectiva y de bajo costo adentro de áreas protegidas, así como para potencializar la efectividad de acciones concretas de restauración ecológica en zonas adyacentes donde se requiere de una mayor inversión de recursos. Por lo tanto, es necesario continuar con la investigación relacionada con la dinámica de regeneración natural e iniciar el desarrollo de experimentos de restauración ecológica en las áreas de la ZAM identificadas como prioritarias en este estudio, con el fin de tener una mayor base científica para la propuesta de estrategias futuras a escala local y regional en la RBM.

Agradecimientos

La realización de este estudio fue posible gracias al financiamiento de la Dirección General de Investigación (Digi) (Partida 4.8.63.3.57) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Usac), y la participación del personal de CECON Usac: Fernando Tesucún, Luis Rodas, Pablo Ical, José Luis Rodas, Marvin García, Luis Erazo, Byron Cruz, Aderli Morales Ernesto Ramírez, Abraham Mateo López, Saúl Castillo, Arturo Palacios, Darwin Castillo, Isidro Meléndez, D Aguirre, Damarío España, David Misty, Moisés Misti, Erwin García, Juan José Romero y Marvin Rosales, los colaboradores Carolina Bonilla Chang, Vivian González Castillo y Gerson Olivares, MSc. Brenda Díaz Ayala coordinadora del Programa Universitario de Cultura, Pensamiento e Identidad de la Sociedad Guatemalteca y el personal

del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas (IIQB) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Usac. Se agradece el apoyo del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), la Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación (FUNDAECO) y todas las personas que hicieron posible el desarrollo de este estudio.

Referencias

- Aide, T. M., & Cavelier, J. (1994). Barriers to lowland tropical forest restoration in the Nevada de Santa Marta. *Colombia Restoration Ecology*, 2(4), 219-229.
- Azpilicueta, A. M., Gallo, L. A., Pastorino, M., & Lozano L. (2011). *Aspectos genéticos de la restauración ecológica del bosque nativo. Ejemplos de aplicación en la región Andino-Patagónica*. San Carlos de Bariloche: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Bámaca, E. (2000). *Inventario forestal y plan de manejo integrado de la unidad de manejo Uaxactún Petén Guatemala*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Guatemala.
- Chazdon, R. L., Finegan, B., Capers, R. S., Salgado-Negret, B., Casanoves, F., Boukili, V., & Nodern, N. (2010). Composition and dynamics of functional groups of trees during tropical forest succession in Northeastern Costa Rica. *Biotropica*, 42(1), 31-40.
- Fournier, L. A., & Herrera, M. E. (1977). La sucesión ecológica como un método eficaz para la recuperación del bosque en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 1(1), 23-29.
- Galindo-González, J., Guevara, S., & Sosa, V. J. (2000). Bat- and bird-generated seed rains at isolated trees in pastures in a tropical rainforest. *Conservation Biology*, 14(6), 1693-1703.
- García-Velásquez, L. M., Ríos-Quintana, A., & Molina-Rico, L. J. (2010). Structure, plant composition and leaf litter decomposition in soil, at two sites of an Andean cloud forest (reforested and in spontaneous succession) in Peñas Blancas, Calarcá (Quindío), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 32(93), 147-164.

- Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques, & Uso de la Tierra. (2014). *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y Mapa de cambios en uso de la tierra 2001- 2010 para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero* (Informe técnico). Guatemala: Autor.
- Guariguata, M. R., & Ostertag, R. (2001). Neotropical secondary forest succession: Changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*, 148, 185-206.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Thau, D., ... Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- Hernández, K. (1997). *Caracterización de especies arbóreas y arbustivas nativas con potencial para la alimentación de bovinos en el Petén*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Guatemala.
- Hodgon, B. D., Hughell, D., Ramos, V. H., & McNab, R. B. (2015). *Tendencias en la deforestación de la Reserva de Biosfera Maya, Guatemala 2000-2013*. Guatemala: Rainforest Alliance, Wildlife Conservation Society y Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
- Hooper, E., Condit, R., & Legendre, P. (2002). Responses of 20 native tree species to restoration strategies for abandoned farmland in Panama. *Ecological Applications*, 12(6), 1626-1641.
- Howarth, R., & Colonnello, G. (2004). Sucesión secundaria como consecuencia de diferentes tipos de usos de la tierra en bosques pluviales montanos en la cordillera de La Costa Central (Venezuela). *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 161-162, 137-165.
- Ixcot, L., Acevedo, M., Cano, E., Flores, M., Pérez, S., & Villar, L. (2005). *Estudio de la biodiversidad en los Biotopos San Miguel la Palotada El Zotz y Naachtún Dos Lagunas, Petén, Guatemala*. (FODECYT No. 19-2002). Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios Conservacionistas.
- Jerez, M., Quevedo, A., Moret A. Y., Plonczak, M., Garay, V., Lawrence, V., ... Rodríguez L. E. (2014). Regeneración natural inducida y plantaciones forestales con especies nativas: Potencial y limitaciones para la recuperación de bosques tropicales degradados en los llanos occidentales de Venezuela. En F. Herrera & I. Herrera (Eds), *La restauración ecológica en Venezuela: Fundamentos y experiencias*. Caracas: Ediciones IVIC.
- Kennard, D. K. (2002). Secondary forest succession in a tropical dry forest: patterns of development across a 50-year chronosequence in lowland Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, 18, 53-66
- Lamb, D., Erskine, P. D. & Parrotta, J. A. (2005). Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310(205), 1628-1632.
- Lattera, P., Jobbágy, E. G., & Paruelo, J. M. (2011). *Valoración de servicios ecosistémicos: Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Lemus, L. B. (1999). *Estudio de especies forestales y de uso agroforestal en la vegetación secundaria y su propuesta de manejo en cuatro comunidades de Flores, Petén*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Guatemala.
- MacVean, A. L. (2003). *Plantas útiles de Petén*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- Manzanero, M. A. (1999). *Evaluación de la estructura y composición florística de la sucesión secundaria en áreas disturbadas, bosque húmedo subtropical en la concesión forestal comunitaria de Carmelita, San Andrés, Petén*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Noroccidente, Huehuetenango, Guatemala.
- Martínez-Ramos, M., & García-Orth, X. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 80, 69-84.
- Mendieta, J. A., Espino, E. R., & Ramos, C. (2010). Caracterización de etapas de sucesión secundaria en la Reserva Natural Cocobolo, Distrito de Chepo, Panamá. *Tecnociencia*, 12(2), 7-19.

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2006). Mapa de Cobertura y Uso del Suelo 1:50,000. Guatemala: Autor.
- Morales, J. M. (2003). *Efecto del aprovechamiento forestal maderable en la estructura, composición y dinámica del bosque natural en San Miguel, San Andrés, Petén, Guatemala*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Guatemala.
- Organización Internacional de las Maderas Tropicales. (2002). Directrices de la OIMT para la restauración, ordenación y rehabilitación de bosques tropicales secundarios y degradados. (Serie de políticas forestales N.13). Autor.
- Organización Internacional de las Maderas Tropicales, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2005). *Restaurando el paisaje forestal. Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales* (Serie Técnica OIMT No. 23). Autor.
- Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 21, 959-967.
- Rey, J. M., Bullock, J. M., & Newton, A. C. (2008). Creating Woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(6), 329-336.
- Rodas, R. S. (1998). *Evaluación de la riqueza de especies del dosel y del sotobosque en la estación biológica "Las Guacamayas", Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- Rodas, C. A. (2005). *Inventario forestal del bosque natural de la comunidad popular en resistencia de Petén, comunidad "Salvador Fajardo", La Libertad, Petén*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Petén, Guatemala.
- Sandoval, K. (1999). *Análisis estructural de la vegetación arbórea y sotobosque del Parque Nacional Laguna El Tigre Petén, Guatemala*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- Schulze, M. D., & Whitacre, D. F. (1999). A classification and ordination of the tree community of Tikal National Park, Petén, Guatemala. *Bulletin of the Florida Museum of Natural History*, 41(3), 169-297.
- Sisk, T. D., Haddad, N. M., & Ehrlich, P. R. (1997). Birds assemblages in patchy woodlands: modeling the effects of edge and matrix habitats. *Ecological Applications*, 7(4), 1170-1180.
- Tax, M. (2005). *Caracterización del potencial de uso maderable y no maderable del bosque secundario en las áreas adyacentes al Parque Nacional El Rosario Sayaxché, Petén, lineamientos generales de manejo forestal*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Guatemala.
- The Nature Conservancy. (2006). *Una visión para el futuro, una agenda para hoy: Plan Ecorregional de las Selvas Maya, Zoque y Olmeca*. En F. Secaira, M. Paiz & G. Hernández (Eds.). (Documento técnico). San José, Costa Rica: Autor.
- Villalobos, S. M. (2012). *Patrones, procesos y mecanismos de la comunidad regenerativa de un bosque tropical caducifolio en un gradiente sucesional*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, México.
- Wildlife Conservation Society, Center for International Earth Science Information Network, & Columbia University. (2005). *Last of the Wild Project, Version 2, 2005 (LWP-2): Global Human Footprint Dataset (Geographic)*. New York: NASA Socioeconomic Data and Applications Center. doi <http://dx.doi.org/10.7927/H4M61H5F>.
- Yepes, A. P., & Villa, J. A. (2010). Sucesión vegetal luego de un proceso de restauración ecológica en un fragmento de bosque seco tropical (La Pintada, Antioquia). *Revista Lasallista de Investigación*, 7(2), 24-34.