

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a large, circular emblem in the background. It features a central shield with a figure on horseback, a crown, and other heraldic symbols. The shield is flanked by two columns and topped with a banner. The Latin motto "OBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERAS" is inscribed around the perimeter of the seal.

**CARACTERIZACIÓN DEL BANCO DE SEMILLAS DEL SUELO EN EL  
BIOTOPO PROTEGIDO SAN MIGUEL LA PALOTADA EL ZOTZ,  
SAN JOSÉ, PETÉN**

**María Fernanda Ramírez Posadas**

**Para optar por el título de**

**BIÓLOGA**

**Guatemala, octubre de 2016**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a large, circular emblem in the background. It features a central figure of a knight on horseback, a crown at the top, and various heraldic symbols. The Latin motto "OBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERAS" is inscribed around the perimeter of the seal.

**CARACTERIZACIÓN DEL BANCO DE SEMILLAS DEL SUELO EN EL  
BIOTOPO PROTEGIDO SAN MIGUEL LA PALOTADA EL ZOTZ,  
SAN JOSÉ, PETÉN**

**Informe de Tesis**

**Presentado por**

**María Fernanda Ramírez Posadas**

**BIÓLOGA**

**Guatemala, octubre de 2016**

# **JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
M.A. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza	Secretaria
M.Sc. Miriam Carolina Guzán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Andreina Delia Irene López Hernández	Vocal IV
Br. Carol Andrea Betancourt Herrera	Vocal V

# DEDICATORIA

A Guatemala porque a pesar de su extensión, alberga una increíble y maravillosa diversidad biológica y cultural, que muchas veces es poco respetada, apreciada y valorada. Pero que a pesar de todo lucha por seguir adelante, siempre dispuesta a levantarse y maravillarse a todo aquel que le preste atención.

A mis padres, José Fernando y Flor de María, quienes me han transmitido el amor y respeto hacia Guatemala y a la vida por sobre todas las cosas. De quienes aprendí a realizar cualquier acción que emprenda con excelencia y el mayor esfuerzo posible encaminados hacia un país mejor, pues aunque parezca pequeño o insignificante, éstas contribuyen poco a poquito al bienestar de todos los seres que lo habitamos. También porque son las personas que me han hecho ser la persona que soy, apoyado incondicionalmente en cualquier decisión y creído en mí en todo momento.

A mi querida Zelda Sophia, para que se enamore de las maravillas y enigmas de esta vida, las cuales sólo podremos apreciar superficialmente pero que vale muchísima la pena el tratar de entenderlas, protegerlas, respetarlas y sobre todo amarlas.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, mi segunda casa, porque en ella me forme bajo el lema de “*ID Y ENSEÑAD A TODOS*”. Y aprendí a través de su misión, valores e ideales, los que es y representa un verdadero profesional para nuestra Guatemala y que espero honrar en todo momento.

# AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos por todos los conocimientos, valores e ideales adquiridos y que de una u otra forma contribuyeron a mi formación no sólo profesional sino que personal.

A mis padres y hermanos, Fernando y Lesly, principalmente, por su paciencia, cariño y apoyo incondicional durante todo el proceso de mi formación personal y académica, ya que sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible.

A mi Abuelitas, Tíos, Tías y primos, aunque ya no puedo compartir este logro con todos, siempre estuvieron pendientes y demostrado todo su cariño y apoyo.

Al proyecto DIGI 3.57 “Dinámica de la regeneración natural de un bosque tropical como fundamento para el desarrollo de estrategias de restauración ecológica en la Reserva de Biosfera Maya” por brindar la oportunidad de realizar esta investigación y a la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por financiar las colectas de muestras de suelo utilizados durante esta investigación.

A Manolo García por su asesoría y apoyo en el desarrollo de esta investigación. También por presentarme la maravillosa complejidad natural que aún falta por estudiar no sólo en la Reserva de Biósfera Maya sino que en el resto este hermoso país.

A Marvin Rosales, Juan José Romero y Luis Rodas por su apoyo en la logística y coordinación al facilitar equipo y personal de campo para la realización del trabajo de campo.

Al equipo de guarda recursos de CECON-Petén, Damario España, Marvin García, David Misti, Luis Erazo, José Luis Rodas, Moisés Misty y Luis Rodas que colaboraron arduamente durante todo el trabajo de campo y que, sin su apoyo y labor dentro del área este trabajo no hubiera sido posible.

Al Lic. Osberth Morales y Sr. Carlos Gaitán, del departamento de microbiología de la Escuela de Químicas Biológica por el préstamo del autoclave para la esterilización de los núcleos de suelo usados como control.

A todo el personal del Centro de Estudios Conservacionistas, en especial al Centro de Datos para la Conservación -CDC-, al Jardín Botánico y Herbario USCG por recibirme siempre con las puertas abiertas y brindarme todo el apoyo necesario para el desarrollo de esta investigación y durante mi formación académica.

A Carolina Rosales por su apoyo y cariño en todo momento, y por propiciar la gestión para la realización de la fase de invernadero en las instalaciones del Jardín Botánico del CECON.

A Javier Rivas por su apoyo y revisión de esta investigación. También por alentarme y siempre contribuir con el estudio de las semillitas al compartir sus conocimientos y todo lo relacionado a ellas.

A mis queridos amigos Bárbara Escobar, Carolina Bonilla, Claudia Morales, Héisel Arreola, Jacob Álvarez, Juan Zelada y Juan Pablo Herrera con quienes he compartido no sólo años de mi vida, sino que también alegrías, tristezas, enojos, proyectos, ideales, valores y metas; les agradezco tanto por ser parte de mi vida, por su enorme paciencia, comprensión, apoyo y los ánimos que me brindan en todo momento. También por apoyarme y revisar en alguna(s) de las etapas esta investigación ayudando grandemente a mejorarlo.

A Yorik Tenes por su ayuda en los análisis estadísticos y, sobre todo, porque con su apoyo y trabajo en equipo, este proyecto no hubiera sido posible. Así mismo a la familia Mayén por brindar su apoyo y cariño.

A Jéssica López, Maura Quezada, Rosario Rodas, Andrea Marroquín y Pablo Lee por su gran amistad, consejos, valiosos ánimos y apoyo durante esta última etapa.

A quienes colaboraron directa o indirectamente en la realización de este estudio y aportaron de una u otra manera para su realización.

**¡Muchas gracias a todos!**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
III. ANTECEDENTES.....	4
A. Regeneración natural.....	4
i. Banco de semillas del suelo (BSS).....	6
ii. Dinámica del banco de semillas del suelo.....	7
B. Reserva de Biosfera Maya (RBM).....	13
i. Importancia ecológica.....	14
ii. Biotopo Protegido San Miguel La Palotada – El Zotz (BPSMPZ).....	15
IV. JUSTIFICACIÓN.....	18
V. OBJETIVOS.....	20
A. Objetivo general.....	20
B. Objetivo específico.....	20
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
A. Universo.....	21
i. Población.....	21
ii. Muestra.....	21
B. Materiales.....	21
i. Equipo de campo.....	21
ii. Equipo para procedimientos de invernadero.....	22
iii. Material de oficina.....	22
iv. Recurso humano.....	23
C. Métodos.....	23
i. Diseño experimental.....	23
ii. Técnicas de recolección de datos en campo.....	24
iii. Procedimientos en invernadero: Evaluación de la emergencia de plántulas del banco de semillas del suelo y su identificación.....	30
iv. Análisis estadístico.....	32
VII. RESULTADOS.....	41
A. Riqueza, densidad y diversidad del BSS en cuatro condiciones de regeneración natural del bosque.....	43
i. Riqueza del BSS.....	43
ii. Densidad del BSS.....	43
iii. Diversidad del BSS.....	44
B. Comparación de la composición y densidad total del BSS en cuatro condiciones de regeneración natural del bosque.....	47
i. Composición del BSS.....	47
ii. Densidad del BSS.....	48

C. Comparación entre la riqueza del BSS y la riqueza de la vegetación en pie en cuatro condiciones de regeneración del bosque.....	49
i. Riqueza y abundancia de la vegetación en pie.....	49
ii. Comparación entre la riqueza del BSS y la riqueza de la vegetación en pie.....	49
D. Resultados complementarios.....	53
i. Representatividad del esfuerzo de muestreo.....	53
ii. Composición de la vegetación en pie.....	58
iii. Comparación entre la abundancia del BSS y la abundancia de la vegetación en pie.....	60
iv. Comparación entre la diversidad del BSS y la diversidad de la vegetación en pie.....	62
v. Análisis de clasificación de los sitios de estudio.....	63
VIII. DISCUSIÓN.....	67
IX. CONCLUSIONES.....	76
X. RECOMENDACIONES.....	78
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
XII. ANEXOS.....	97
A. Procedimientos de invernadero.....	97
i. Bandejas de germinación.....	97
ii. Distribución espacial de bandejas de germinación.....	98
B. Banco de semillas del suelo de un bosque del Biotopo Protegido San Miguel la Palotada el Zotz.....	99
C. Vegetación en pie de un bosque del Biotopo Protegido San Miguel la Palotada el Zotz.....	102
D. Rarefacción y extrapolación basada en muestras del BSS y Vegetación en pie del BPSMPZ.....	110
E. Catálogo de las especies del BSS del BPSMPZ.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo conceptual del proceso de regeneración natural de una comunidad vegetal de arbustos y de árboles.....	5
Figura 2: Dinámica del banco de semillas del suelo.....	8
Figura 3: Mapa de ubicación geográfica y zonificación de la Reserva de Biosfera Maya...13	13
Figura 4: Zonificación de la Reserva de Biosfera Maya y ubicación geográfica del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada El Zotz.....	24
Figura 5: Parcela modificada de Whittaker de 0.1Ha de subparcelas anidadas.....	26
Figura 6: Diseño de parcela de muestreo de banco de semillas del suelo en parcela de 100 m <sup>2</sup> (20m x 5m).....	27
Figura 7: Ubicación geográfica de los sitios de muestreo dentro del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada El Zotz, San José, Petén.....	42
Figura 8: Procedimientos de invernadero.....	97
Figura 9: Distribución espacial de las bandejas de germinación .....	98

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Caracterización del BSS en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.....	45
Gráfica 2: Diversidad de especies del o de semillas del suelo en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.....	46
Gráfica 3: Riqueza de especies por sitio de estudio del BSS y vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.....	50
Gráfica 4: Abundancia de especies por sitio de estudio del BSS y vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.....	51
Gráfica 5: Dispersión de los datos de riqueza del BSS y de la Vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.....	52
Gráfica 6: Curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia en las unidades muestrales del BSS del bosque alto del BPSMPZ .....	54
Gráfica 7: Curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia en las unidades muestrales del BSS en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.	55
Gráfica 8: Curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia en las unidades muestrales de la vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZa.....	57
Gráfica 9: Curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia en las unidades muestrales del BSS y de la vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.....	58
Gráfica 10: Frecuencias relativas (izq.) y especies exclusivas (der.) del BSS y vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.....	61
Gráfica 11: Curva de rango-abundancia de especies del BSS y vegetación en pie de un bosque alto del BPSMPZa.....	63
Gráfica 12: Similitud entre los sitios de muestreo de cada categoría de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ en base a la composición y abundancia de la vegetación en pie.	65
Gráfica 13: Similitud entre los sitios de muestreo de cada categoría de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ en base a la composición y abundancia del banco de semillas del suelo.....	66

## I. RESUMEN

El banco de semillas en el suelo (BSS) es una de las rutas de regeneración que utiliza la vegetación para recuperarse tras perturbaciones naturales o antropogénicas. Poco se conoce de su papel en áreas fuertemente amenazadas como la Reserva de la Biosfera Maya (RBM).

En este estudio se caracterizó el BSS en cuatro categorías de regeneración del bosque alto del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada El Zotz, Petén durante la temporada lluviosa del año 2014. En cada categoría de regeneración se establecieron tres sitios de muestreo (20 x 5 m), en donde se extrajeron 396 núcleos de suelo (33 núcleos por sitio; diámetro de 5.40 cm y 9.87 cm de altura promedio) que fueron sometidos a condiciones de germinación. En un área total muestreada de 0.88 m<sup>2</sup> se registraron 91 especies y una densidad de 3,523.81 semillas/m<sup>2</sup>. Se calcularon los índices Shannon – Wiener y el de Simpson, siendo 2.77 y 0.15, respectivamente.

El BSS en las categorías de regeneración de 0 a 5 años, 6 a 10 y 11 a 20 años en regeneración y de bosque sin perturbación aparente, presentaron una riqueza de 46, 65, 60 y 40 especies; una densidad de 3,625.01, 3,420.34, 3,893.37 y 3,156.54 semillas por m<sup>2</sup>; un índice de equidad de Shannon -Wiener de 2.27, 3.06, 2.63 y 1.42; y un índice de dominancia de Simpson de 0.19, 0.09, 0.17 y 0.53, respectivamente. Las categorías de regeneración comparten 23 especies del BSS y 6 de la vegetación en pie.

En todas las categorías de regeneración se encontró diferencia estadística en cuanto a la densidad de especies (especies por 0.22m<sup>2</sup>) y la densidad de semillas (semillas/m<sup>2</sup>) ( $P \leq 0.05$ ), evidenciando que las categorías siguen el patrón de la hipótesis sobre perturbación intermedia de Connell. La vegetación en pie presentó un aumento de la complejidad estructural que se relaciona con el tiempo en regeneración, sin embargo no se encontró evidencia estadística que relacione la riqueza del BSS con la riqueza de la vegetación en pie ( $P = 0.3321$ ).

Palabras clave: *regeneración, suelo, Reserva de Biosfera Maya (RBM), Petén, semillas.*

## II. INTRODUCCIÓN

En Guatemala existe un acelerado deterioro de los ecosistemas naturales y altas tasas de deforestación, como en el departamento de Petén que entre el año 2006 al 2010 contó con una tasa de pérdida de cobertura forestal de 40,125 ha/año (Regalado et al., 2012, p. 74). Este departamento ha mostrado una pérdida del 19% (418,645 ha) de su cobertura vegetal durante el periodo comprendido entre el año 2001 al 2012 (INAB-CONAP, 2015, p. 21; Regalado et al., 2012, p. 74). La cobertura vegetal del departamento se concentra en su mayoría en áreas protegidas como la Reserva de la Biosfera Maya (RBM); que en muchos casos se encuentran amenazadas por acciones que conllevan la eliminación completa de la cobertura vegetal, limitando las rutas de regeneración y volviendo a los ecosistemas principalmente dependientes de la lluvia de semillas y del banco de semillas del suelo para su supervivencia (MARN, 2012, pp. 224, 209).

El banco de semillas en el suelo (BSS) es una de las rutas de regeneración que utilizan las especies vegetales para aumentar sus probabilidades de sobrevivir tras perturbaciones naturales o antropogénicas en los ecosistemas. Por lo que los mismos tienen un papel importante en la restauración y rehabilitación de un sitio ya que tienen el atributo de ser un reservorio de variabilidad genética de las especies que se encontraban inicialmente, aumentando la probabilidad de que algunos individuos sobrevivan a las condiciones que se generan en el sitio perturbado (Bedoya-Patiño, Estévez-Varón, & Castaño-Villa, 2010, p. 88; De Souza, Maia, & Pérez, 2006, p. 34; Fenner & Thompson, 2005, pp. 1–2; Garwood, 1989, pp. 150–151, y otras referencias citadas por la autora; Martins & Engel, 2007, p. 165).

A través del conocimiento del BSS es posible predecir, con sus limitaciones respectivas, el curso de la sucesión secundaria tras una perturbación, considerándose un elemento clave para ecosistemas vulnerables a la degradación y a la pérdida de su integridad como la RBM. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de generar información sobre la estructura y composición del BSS en el Biotopo Protegido San Miguel La Palotada - El Zotz, San José, Petén, una zona núcleo de la RBM, en cuatro condiciones de regeneración del bosque. Con ello se pretende aportar insumos que enriquezcan y complementen el plan de manejo del Biotopo, realizado por el Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) que respondan al escenario actual en donde las áreas protegidas por ser los remanentes naturales se ven cada vez más amenazadas.

### III. ANTECEDENTES

#### A. Regeneración natural

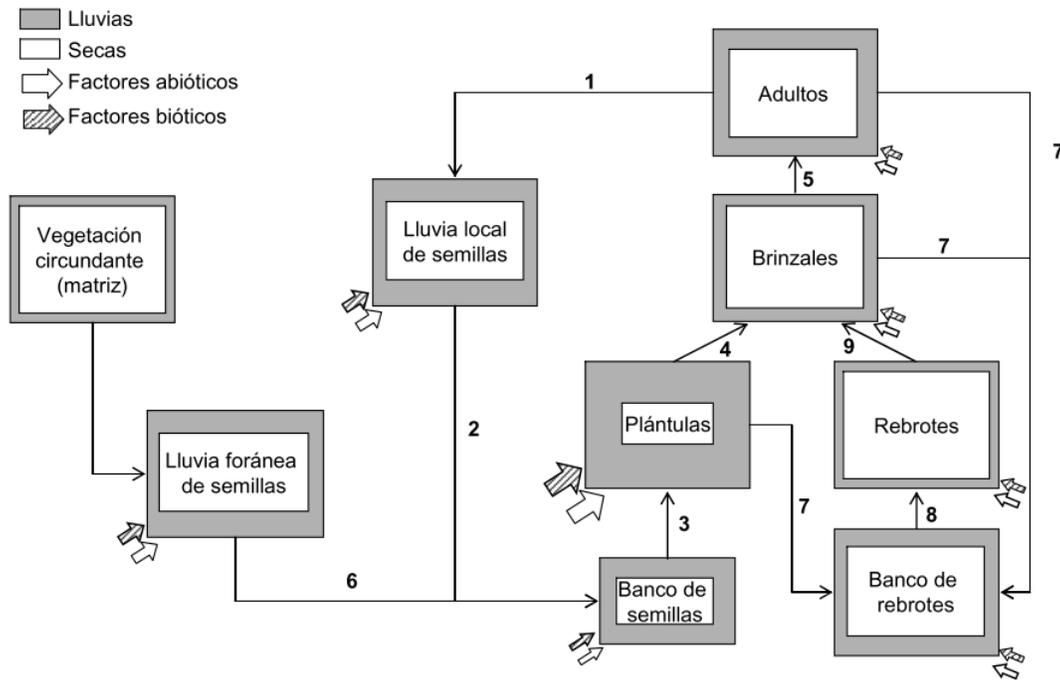
Tras una perturbación la composición y estructura de la vegetación de un sitio es consecuencia de la regeneración natural<sup>1</sup> exitosa de una selección de especies potenciales disponibles y de la edad de la vegetación (Kitajima, 2007, p. 566; Perera, 2005, pp. 76–77).

Para perpetuarse a lo largo del tiempo las poblaciones de especies vegetales requieren la creación recurrente de rutas de regeneración adecuadas a intervalos apropiados (Kitajima, 2007, p. 566; Teketay, 2005, p. 29). Estas rutas se dan a partir de una serie de eventos en los que se incluye: floración, producción y dispersión de semillas, incorporación de semillas al suelo (en cantidad y calidad), depredación de semillas, germinación, propagación vegetativa, establecimiento y crecimiento de plántulas y formación de bancos de plántulas (Perera, 2005, p. 77; Teketay, 2005, p. 29).

La regeneración natural es un proceso lento y poco predecible en donde las plantas nuevas en la comunidad pueden originarse de rutas que involucran tanto vías sexuales como vegetativas (**ver Figura 1, pág. 5**). Cada subconjunto en la comunidad está conformado por individuos que comparten el mismo estadio de vida, y donde las transiciones de un subconjunto a otro son afectadas por factores bióticos (depredadores, patógenos, parásitos, herbívoros, competidores y mutualistas) y abióticos (temperatura, radiación solar, características físicas del suelo, disponibilidad de agua, luz y nutrientes en el suelo) (Martínez-Ramos, 1994, p. 189; Martínez-Ramos & García-Orth, 2007, p. 77; Maza-Villalobos, 2012, p. 11,128; Pardos, Ruiz del Castillo, Cañellas, & Montero, 2005, p. 434).

---

1 *Regeneración natural*: proceso natural de recambio o reestablecimiento de la vegetación (Martínez-Ramos, 1994, p. 181; Nancy Pywell & Maryland Forest Service, 2003, en web; Platt, 1992, p. 1). Además del reestablecimiento de las condiciones físico-químicas, de recursos, de las interacciones bióticas y de los atributos biológicos de las especies que están presentes en un sitio (Maza-Villalobos, 2012, p. 10).



**Figura 1: Modelo conceptual del proceso de regeneración natural de una comunidad vegetal de arbustos y de árboles.** Las flechas delgadas y los números definen las transiciones que pueden darse entre los componentes, identificando las rutas que pueden seguir los miembros de cada subconjunto a medida que se desarrollan de un estadio de vida a otro. Los números facilitan la distinción de diferentes rutas hacia el estadio maduro de los árboles. Fuente: Maza-Villalobos (2012, p. 11).

Por ejemplo, para regenerarse a partir de perturbaciones, la vegetación del bosque tropical ha desarrollado distintas oportunidades o rutas de regeneración que se pueden combinar: lluvia de semillas (semillas dispersadas recientemente), banco de semillas del suelo (semillas latentes en el suelo), banco de plántulas (plántulas ya establecidas pero que se encuentran suprimidas en el sotobosque), regeneración de avanzada (árboles jóvenes suprimidos en el sotobosque, generalmente menores de 5 cm de diámetro a la altura del pecho -DAP-), rebrote (raíces o retoños de material vegetativo dañado) y el crecimiento hacia dentro del dosel (crecimiento lateral del dosel) (Garwood, 1989, pp. 150–151; Kitajima, 2007, p. 266; Martínez-Ramos, 1994, p. 181; Teketay, 2005, p. 29).

En algunos estados sucesionales, como en los ecosistemas forestales y en el caso de las especies pioneras, los bancos de semillas del suelo forman parte de los principales mecanismos de regeneración (Garwood, 1989, p. 203).

### **i. Banco de semillas del suelo (BSS)**

Cuando una semilla madura viable llega a la superficie del suelo, puede sufrir uno de varios destinos: germinar inmediatamente o puede persistir en el suelo o en la superficie del suelo, durante un período largo y permanecer viable durante un tiempo determinado (Thompson, 2000, p. 215). A éste último conjunto de semillas se le denomina banco de semillas del suelo (BSS), funcionando a manera de reserva como una estrategia de sobrevivencia de las especies a lo largo del tiempo por el potencial regenerativo que representan (De Souza et al., 2006, p. 34; Simpson, Leek, & Parker, 1989, p. 3).

Por lo anterior se puede decir que el BSS es un componente importante de la dinámica vegetal, ya que permite la restauración, rehabilitación y el inicio de la regeneración natural después de una perturbación, porque, a diferencia de otras estrategias de regeneración, funciona no sólo como “memoria” de la vegetación, sino que mantiene variabilidad genética al ser producto de un proceso de reproducción sexual (Bakker, Poschlod, Strykstra, Bekker, & Thompson, 1996, p. 462; De Souza et al., 2006, p. 34; Martins & Engel, 2007, p. 165; Pullo, 2005, p. 1).

El conocimiento de la composición y dinámica del BSS brinda información acerca del estado de la sucesión vegetal, de las especies potencialmente capaces de reemplazar a las existentes, y del tipo de especies que componen la vegetación presente y circundante, así como su relación con la fauna silvestre (Bedoya-Patiño et al., 2010, p. 77). Constituyendo una herramienta básica para el manejo y restauración de la diversidad florística y la sustentabilidad social y ecológica de estos ecosistemas que son sometidos a perturbaciones,

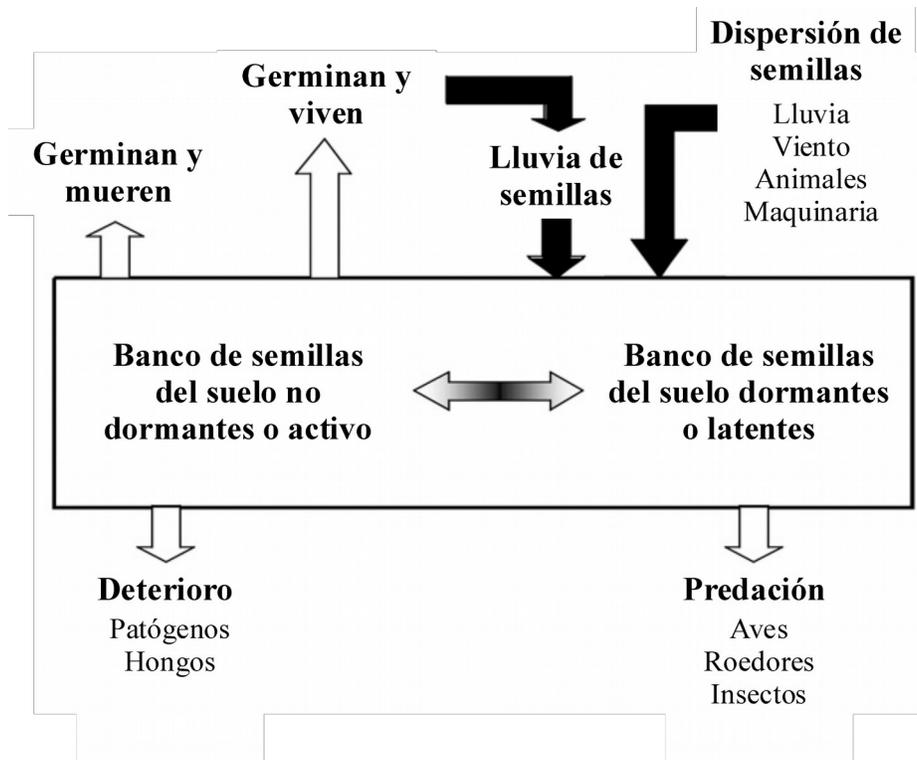
formaciones de claros o condiciones ambientales que cambian el estado de la vegetación (De Souza et al., 2006, p. 34).

## **ii. Dinámica del banco de semillas del suelo**

Los BSS son el resultado de eventos ambientales y del desarrollo e historia evolutiva de las especies de las que se compone (**Figura 2, pág. 8**). Donde, el clima, la herbivoría y las perturbaciones pueden ocasionar fluctuaciones anuales en su densidad y heterogeneidad espacial (Saatkamp, Poschlod, & Venable, 2013, p. 266).

Aunque existen muchos factores que generan variabilidad, es posible diferenciar dos tipos principales de BSS: los transitorios, cuando las semillas germinan dentro de un año tras su dispersión inicial, y los persistentes, cuando las semillas tras su dispersión permanecen en el suelo más de un año (Simpson et al., 1989, p. 3).

Los BSS son entidades dinámicas donde se van incorporando anualmente semillas a través de la dispersión ya sea a través de lluvia de semillas (dispersión local) y por la llegada de diásporas de otras zonas (dispersión a larga distancia), mientras que se eliminan a través de la germinación (tanto de las semillas recién dispersadas como de las almacenadas en el banco de semillas), y a través de la senescencia, redispersión, la depredación y la patogénesis (Hyatt & Casper, 2000, p. 517; Simpson et al., 1989, p. 4). En esta dinámica el equilibrio entre procesos determinará la tasa de rotación del banco de semillas en un lugar determinado. Evidenciándose la dimensión espacial y temporal que poseen los BSS; así como dispersión horizontal y vertical, lo que refleja la dispersión inicial en el suelo y el movimiento subsiguiente, respectivamente (Simpson et al., 1989, p. 3).



**Figura 2: Dinámica del banco de semillas del suelo.** Las entradas de semillas al BSS se muestran con flechas negras y las pérdidas con flechas blancas. Fuente: Menalled (2008, p. 2).

En este sentido erróneamente se asume que las poblaciones de semillas en el suelo se distribuyen normal y homogéneamente, olvidando su heterogeneidad inherente. Pues la densidad y composición del BSS puede variar a escala de unos pocos metros cuadrados y en bosques tropicales esta variación parece estar asociada con factores como la topografía, la distribución espacial de las especies actuales o del pasado, y sus patrones de dispersión. Aunque las especies más abundantes a menudo tienen una distribución normal, las menos abundantes por lo general tienen una distribución agregada. Así mismo, estas características del banco de semillas también cambian en función de la profundidad en el suelo, y se pueden modificar estacionalmente a lo largo del año (Benoit, Kenkel, & Cavers, 1989, p. 2833; Moscoso-Marín & Diez Gómez, 2005, p. 2933).

En cuanto a su composición se puede decir que el banco de semillas está dominado por especies sucesionales tempranas que producen numerosas semillas pequeñas, compactas (baja relación largo/ancho) y no ornamentadas (lisas), todas características que facilitan el enterramiento e incorporación al suelo. Mientras que semillas de especies que carecen de banco de semillas son grandes, muchas veces largas o planas y por lo general poseen ornamentaciones como aristas o fibras como cabellos, y con requerimientos estrictos para su germinación (Thompson, Bakker, & Bekker, 1997, p. 23).

#### **A. Métodos para el estudio de los BSS**

Para analizar el BSS existen diversas metodologías, las cuales se agrupan en tres grandes grupos: (1) métodos de separación o directo: donde muestras de suelo son tomadas de la vegetación y el volumen de la muestra es reducido, seguido de la extracción de las semillas por flotación o lavado y tamizado; (2) métodos de germinación o indirecto: donde muestras de suelo son tomadas de la vegetación y las semillas son germinadas dentro de un invernadero o al aire libre; sin ninguna extracción o reducción de la muestra; y, (3) métodos de enterramiento: donde el suelo es excavado minuciosamente a una profundidad conocida en la vegetación y las semillas germinan en el campo (Thompson et al., 1997, p. 23).

De estos métodos, Butler y Chazdon (1998, p. 215) indican que el único método para determinar con absoluta certeza la riqueza de especies, abundancia y distribución espacial de las semillas en el BSS es a través de un examen minucioso de toda la masa de suelo hasta el lecho de roca subyacente. De acuerdo a concesiones de precisión y practicidad, este método puede llegar a ser ineficaz en la detección de semillas de pequeño tamaño, además de necesitar una posterior verificación de la viabilidad<sup>2</sup> de las semillas aisladas, consumiendo mucho tiempo y esfuerzo.

---

2 Únicamente las semillas viables son consideradas como parte del BSS (Thompson, Bakker, & Bekker, 1997, p. 24).

Por otro lado, la germinación de las semillas de las muestras de suelo en condiciones favorables proporciona una estimación razonable de las semillas viables dentro de una muestra; y al aumentar el número de muestras de suelo se obtiene una estimación más precisa de la abundancia media de semillas y permite pruebas más rigurosas para la estimación de riqueza. Pero con el inconveniente de que este método ve reducida su eficacia por la presencia de semillas dormantes cuya germinación es difícil de promover (Heerdt, Verweij, Bekker, & Bakker, 1996, p. 145).

La comprensión actual de la composición de especies de los bancos de semillas del suelo o de los bosques tropicales es limitada. La falta de metodologías estandarizadas que permitan estimaciones precisas de la riqueza de especies, abundancia de semillas, y la variación espacial ha impedido que los estudios ecológicos sean comparativos (Butler & Chazdon, 1998, p. 215). Así mismo, otro factor limitante en los estudios del banco de semillas es, en última instancia, el volumen total de suelo que puede ser muestreada y procesada. Pues la dimensión y el número de unidades de muestreo (o núcleos de suelo) han sido dictados de manera arbitraria, pero razonablemente justificada al basarse en el costo de muestreo, los recursos disponibles (tiempo, espacio y mano de obra), y la herramienta de muestreo (Benoit et al., 1989, p. 2833). Llegando al consenso general que un gran número de unidades de muestreo pequeñas es más apropiado que un pequeño número de unidades de muestreo grandes (Butler & Chazdon, 1998, pp. 218–219; Pullo, 2005, p. 23).

## **B. Estudio de BSS en Centro América y México**

A pesar de una larga historia de investigación, la comprensión actual de la composición de especies de los BSS de los bosques tropicales es limitada. A continuación se describen diversos trabajos en la región sobre el BSS en bosques tropicales húmedos:

Dalling & Hubbel (2002) estudiaron la influencia del tamaño de las semillas y el crecimiento de las plántulas en el éxito de reclutamiento de especies pioneras a través del estudio del BSS y plántulas en Barro Colorado, Panamá. Donde encontraron 38 taxa con una densidad de 1070 a 3180 semillas/m<sup>2</sup>.

Butler & Chazdon (1998) realizaron un estudio sobre la riqueza, variación espacial y abundancia del BSS de un bosque secundario de 16 años de edad en Costa Rica, comparando dos metodologías de colecta encontraron en un área de una hectárea 34 especies con una densidad de 4535 semillas/m<sup>2</sup> y en un área de 100 m<sup>2</sup> 26 especies con una densidad de 5476 semillas/m<sup>2</sup>. Recomiendan la toma de muestras pequeñas en un área amplia para obtener una mayor exactitud y precisión en la estimación de la riqueza de especies.

Wijdeven & Kuzee (2000) estudiaron cómo la disponibilidad de semillas limita la restauración de un bosque, en un mosaico de bosque - pastizal abandonada en Costa Rica a partir de estudio del BSS, la lluvia de semillas y la predación de semillas. Encontraron en este mosaico que el BSS de pastizales estaba compuesto por 59 especies con una densidad de 4134 semillas/m<sup>2</sup>, mientras que el bosque tropical perturbado contó con 69 especies y 1576 semillas/m<sup>2</sup>.

Maza-Villalobos *et al* (2010) haciendo uso de cronosecuencias estudiaron los patrones del procesos sucesional de los BSS en un pastizal abandonado en Jalisco, México. Reportando 102 morfoespecies con una densidad de 1560 semillas/m<sup>2</sup>.

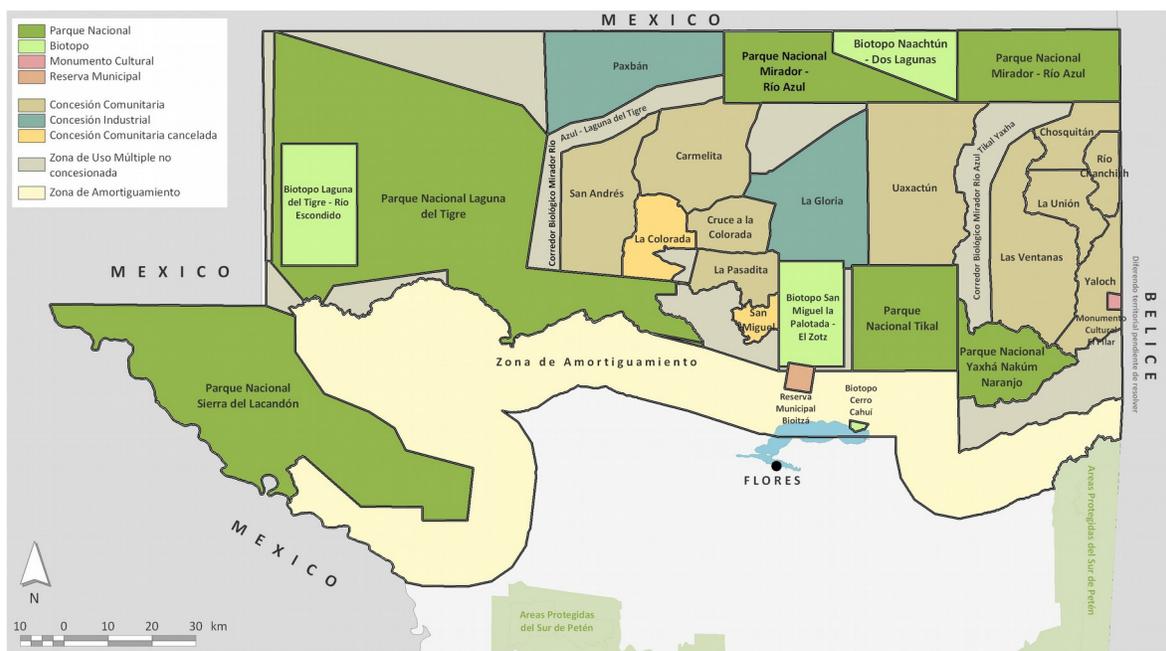
López-Toledo y Martínez-Ramos (2011) en su estudio del BSS de pastizales abandonados en la Selva Lacandona, Chiapas, México encontraron que el BSS representa una fuente de invasión de especies no-nativas para el bosque maduro más que una fuente potencial de regeneración. Reportando 52 especies, en donde las especies de malezas/gramíneas llegan a representar hasta el 22% del BSS del bosque maduro.

En Guatemala, García *et al* (2015a) como parte del desarrollo de un marco conceptual de la dinámica de la regeneración natural de un bosque tropical presente en la Reserva de Biosfera Maya (RBM) reportan un BSS compuesto por 79 morfoespecies de semillas y una densidad de 455.62 semillas/m<sup>2</sup>.

Finalmente, para el Biotopo Protegido Naachtún Dos Lagunas, localizado también en la RBM se reporta para dos condiciones de bosque un BSS con 69 morfoespecies y con una densidad de 162.28 semillas/m<sup>2</sup> (Ramírez, 2015)

## B. Reserva de Biosfera Maya (RBM)

La RBM cuenta con un área total de 2,112,940 hectáreas, encontrándose al norte del departamento de Petén, jurisdicción de los municipios de Flores, La Libertad, Melchor de Mencos, San Andrés y San José (CONAP, 2001, p. 8), **Figura 3, pág. 13.**



**Figura 3: Mapa de ubicación geográfica y zonificación de la Reserva de Biosfera Maya.** Fuente: WCS (2014, en web)

Se encuentra bajo la administración del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), y fue creada con la finalidad de combinar la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales y culturales y, con esto, maximizar los beneficios ecológicos, económicos y sociales para Guatemala (CONAP, 2001, p. 8; Hughell & Butterfield, 2008, p. 4).

La RBM presenta una zonificación de categorías de manejo compuesta por 8 Zonas Núcleo (Parques Nacionales: Tikal, Mirador, Río Azul, Laguna del Tigre, Sierra del Lacandón; y Biotopos: Laguna del Tigre- Río Escondido, San Miguel La Palotada – El Zotz , Naachtún - Dos Lagunas; 767,000 hectáreas; 36% de la RBM); Zona de Usos Múltiple (848,440 hectáreas; 40% de la RBM) y Zona de Amortiguamiento (10 concesiones forestales integradas manejadas por comunidades y 2 concesiones forestales otorgadas a la industria privada; 497,500 hectáreas; 24% de la RBM) (CONAP, 2001, p. 8; Méndez, 1997, p. 8; WCS, 2014, en web).

### **i. Importancia ecológica**

A nivel nacional, la RBM contiene el 35% de los bosques remanente de Guatemala, y se estima que almacena 540 millones de toneladas de carbono, considerando únicamente la biomasa arriba del suelo (CONAP, 2001, p. 8). Además, la RBM junto a parches de hábitat contiguos a Belice y México, se convierten en la reserva de bosque tropical más grande de Mesoamérica (CONANP, FMCN, & TNC, 2011, p. 10; CONAP, 2001, p. 8; The Nature Conservancy, 2006, p. 2)

Al ser el centro de la Selva Maya, la RBM cumple una importante función en la conectividad de éstos parques vecinos, al mismo tiempo que resguarda una amplia diversidad de ecosistemas naturales (humedales, bajos, selvas húmedas, entre otros), especies vegetales y animales, entre las que se encuentran mamíferos, reptiles y aves residentes y migratorias, así como anfibios y peces endémicos (CONAP, 2001, p. 18). Con ello, la RBM permite el funcionamiento de los procesos ecológicos que determinan la sobrevivencia de especies que requieren de grandes extensiones para vivir, tales como el jaguar (*Panthera onca*), puma (*Puma concolor*), tapir (*Tapirus bairdii*) y la guacamaya escarlata (*Ara macao*) (CONAP, 2001, p. 18; García et al., 2015a, p. 36). Además, sus bosques y humedales funcionan como reguladores del ciclo hídrico, evitando la erosión del suelo y la sedimentación, sin mencionar su papel como capturadores de carbono (CONAP,

2001, p. 18, en web WCS, 2014).

## **ii. Biotopo Protegido San Miguel La Palotada – El Zotz (BPSMPZ)**

Es un área protegida bajo la administración del CECON de la USAC, la cual forma parte del Sistema Universitario de Áreas Protegidas (SUAP) y del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), declarada bajo la categoría de Biotopo Protegido (TIPO II) y constituye una de las zonas núcleo de la RBM (CECON, 1999, p. 4; DUC-CONAP, 2014, en web).

### **A. Localización y topografía**

Se localiza en el municipio de San José al oeste del Parque Nacional Tikal y al norte del lago Petén Itzá (Barrios, 1995, p. 83). Se dispone sobre un relieve kárstico en el que el rasgo predominante es una serranía denominada “Serranía del Diablo” que corre de sur a norte y atraviesa toda el área protegida, creando pequeñas colinas que terminan a la altura de los 400 msnm (CECON, 1999, p. 5).

### **B. Hidrología y suelos**

El BPSMPZ no cuenta con corrientes permanentes que lo recorran (CECON, 1999, p. 6). Encontrando la única fuente de agua, durante y luego de la época lluviosa, cuando el agua de lluvia se acumula en forma natural o artificial en los depósitos superficiales que localmente se llaman aguadas (*Ibidem.*). Llegando a constituir fuentes de excepcional importancia para humanos y para la fauna silvestre (*Ibidem.*). Por otro lado, los suelos son calcáreos, arcillosos, poco profundos, poco fértiles y con drenaje lento en los valles y bastante bueno en las colinas (Barrios, 1995, p. 85).

### C. Climatología

El clima predominante es cálido con invierno benigno, semiseco y sin estación seca bien definida. El plan maestro del biotopo CECON (1999, p. 5) reporta que la temporada lluviosa se presenta de junio a octubre y la temporada seca de marzo a mayo, para los últimos 10 años existe un adelanto de estas temporadas, encontrando que la temporada lluviosa se presenta entre los meses de mayo a noviembre, y la temporada seca de diciembre a abril con una precipitación promedio de 145.29 mm y 26.68°C (INSIVUMEH, 2014, en web; Servicio Meteorológico Nacional, México, 2014, en web).

### D. Flora y Fauna

La vegetación corresponde a un bosque húmedo-Subtropical (cálido), según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (Veras, 2009, p. 40). El bosque es latifoliado, alto y bajo y subperennifolio (Ixcot, 2005, p. 8). Al situarse en la zona biogeográfica del extremo sur de la Provincia Campeche, del reino Neotropical, el BPSMPZ se encuentra localmente representado por el bioma de Selva Tropical Húmeda, que se manifiesta como un sistema forestal subcaducifolio(CECON, 1999, p. 7).

Dentro de la vegetación más común y/o con importancia económica se encuentran el grupo de palmas del género *Chamaedorea*, coloquialmente conocidas como "xates", *Chamaedorea elegans* (xate hembra, pacayita), *Chamaedorea oblongata* (xate macho, jade) y *Chamaedorea erumpens* (cambray, xate); el Chicozapote (*Manilkara zapota*) importante por su látex; la pimienta (*Pimenta dioica*) por sus bayas; árboles de caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro (*Cedrela mexicana*); el iximché, ujushte o Ramón (*Brosimum alicastrum*); variedad de sapotáceas (*Pouteria reticulata*, *Pouteria amygdalina*, *Pouteria campechiana*, *Pouteria durlandii*); el copal (*Protium copal*); la palma de botán (*Sabal mauritiiformis*); el

jocote jobo (*Spondias mombin*); y el pucté (*Bucida buceras*) (CECON, 1999, pp. 6–7).

La fauna en el BPSMPZ es diversa en todos los órdenes, donde las aves constituyen uno de los grupos más abundantes (112 especies), encontrando una gran variedad de rapaces y paserinos; así mismo, se encuentran poblaciones de anfibios (12 especies) y reptiles (31 especies) como tortugas, en especial de *Trachemys scripta* y *Kinosternon acutum* y cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletti*); mamíferos mayores (5 especies) como saraguates (*Alouatta pigra*) y micos (*Ateles geoffroyi*), tapires o dantos (*Tapirus bairdii*), ciervos o cabritos de monte (*Mazama temama*), jabalíes y coches de monte (*Pecari tajacu* y *Tayassu pecari*), pizotes (*Nasua narica*), armadillos (*Dasypus novemcinctus*) y los grandes felinos como el jaguar (*Panthera onca*) y, el puma (*Puma concolor*), mamíferos menores como roedores (6 especies) y la gran diversidad de murciélagos (36 especies) que viven en las cuevas de la Serranía del Diablo (CECON, 1999, p. 6; Ixcot, 2005, p. 33).

#### **E. Historial de manejo y perturbación del sitio**

En la actualidad el área protegida se encuentra sometida a una presión de uso proveniente de asentamientos humanos donde la extracción de recursos y avance de la frontera agrícola y ganadera son las principales amenazas. Alrededor del área de amortiguamiento se encuentran siete comunidades: El Cruce a Dos Aguadas, La Pasadita, San Miguel, Yarché, La Milpa, Canchén y Chunchá (Barrios, 1995, p. 87; Veras, 2009, p. 40). Todas tienen veredas que se dirigen al BPSMPZ y lo penetran por distintos puntos aumentando su vulnerabilidad (CECON, 1999, p. 12). Dentro del área del biotopo existieron 5 comunidades (el Pucté, el Arroyo, la Lucha, la abundancia y Santa Cruz) que fueron quedando paulatinamente abandonadas (compers Rodas, Luis, 2014).

## IV. JUSTIFICACIÓN

El deterioro de los ecosistemas naturales y altas tasas de deforestación en el país han aumentado la vulnerabilidad y susceptibilidad a la variabilidad y al cambio climático (MARN, 2012, p. 224). Por ello, se han establecido políticas que buscan que los diversos ecosistemas existentes en el país, las cuencas hidrográficas, los suelos y su diversidad biológica se encuentren bajo una gestión de restauración, conservación y manejo integrado (MARN, 2014, p. 23).

De modo que, áreas como la RBM que afrontan una disminución de su cobertura forestal debido a una fuerte presión antrópica, por los servicios ecosistémicos que prestan, y por la actual conversión de bosque, en especial por actividades agropecuarias de gran escala como la ganadería y la siembra de monocultivos de comercio mundial (palma aceitera), hacen que sea necesario el desarrollo e implementación de estrategias de restauración ecológica en las áreas perturbadas y su posterior conservación y manejo integrado (Castellanos & Guerra, 2009, p. 27; García, López, & Ramírez, 2015b, p. 54; Hodgdon, Hughell, Ramos, & McNab, 2015, p. 9; MARN, 2012, p. 209).

En la Estrategia Nacional de Restauración del Paisaje Forestal se evidencia que en varios de los indicadores de impacto de metas, como las relacionadas a la gestión del conocimiento y los medios de vida y diversidad biológica, no cuentan con una línea base completa, ordenada y sistematizada (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015, p. 31,33). Por lo que la existencia de ciertos vacíos de información sobre la diversidad biológica (en especial de sus dinámicas y procesos), así como de la diversidad ambiental del país, dificultan que no se pueda dar una apropiada toma de decisiones encaminadas a soluciones de largo plazo.

Si bien existen estudios sobre sucesión vegetal secundaria y la regeneración natural para la RBM, aún es necesario completar información sobre los distintos componentes de la dinámica de estos procesos (Ferguson & Griffith, 2004; Ferguson, Vandermeer, Morales, & Griffith, 2003; García et al., 2015b; Orantes, 1995). Uno de estos componentes son los bancos de semillas del suelo, componente importante de la dinámica vegetal que permite, a diferencia de otras estrategias de regeneración, no sólo funcionar como “memoria” de la vegetación de un sitio, sino que además permite la conservación de la variabilidad genética (Bakker et al., 1996, p. 462; Bedoya-Patiño et al., 2010, p. 77; De Souza et al., 2006, p. 34; Pullo, 2005, p. 1).

Por lo que al caracterizar el banco de semillas del BPSMPZ se amplía el conocimiento sobre la dinámica y los procesos involucrados en la regeneración natural de la RBM, y se fortalece las capacidades de la USAC para el desarrollo e implementación de estrategias de manejo y restauración ecológica en áreas perturbadas y áreas protegidas que administra para la conservación de los recursos naturales del país. Sin mencionar, que al ser un estudio que se realiza en una de las zonas núcleo de la RBM, los resultados obtenidos pueden ser empleados como punto de partida para la comparación y evaluación del estado de otros BSS, por lo que instituciones con injerencia en otras áreas protegidas dentro de la RBM se beneficiarían de los resultados obtenidos.

## **V. OBJETIVOS**

### **A. Objetivo general**

- i. Caracterizar el banco de semillas del suelo en distintas categorías de regeneración natural del bosque alto en el Biotopo Protegido San Miguel La Palotada El Zotz, Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala.

### **B. Objetivo específico**

- i. Caracterizar la densidad, riqueza y diversidad del banco de semillas del suelo en cuatro categorías de regeneración del bosque.
- ii. Comparar la composición y densidad total del banco de semillas del suelo en cuatro categorías de regeneración del bosque.
- iii. Comparar la riqueza del banco de semillas del suelo con la riqueza de la vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración del bosque.

## **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **A. Universo**

#### **i. Población**

Semillas presentes en el banco de semillas del suelo del bosque alto en el BPSMPZ.

#### **ii. Muestra**

Semillas germinadas en núcleos de suelo de 0.02 m<sup>3</sup> colectados durante la temporada lluviosa del año 2014 en cuatro categorías de regeneración: a) 0 a 5 años, b) 6 a 10 años, c) 11 a 20 años en regeneración, y d) bosque sin perturbación aparente. Cada categoría contó con tres réplicas de 33 núcleos de suelo cada una.

### **B. Materiales**

#### **i. Equipo de campo**

##### **a) Equipo electrónico**

- 1 GPS
- 1 Cámara fotográfica digital
- 1 Computadora
- 1 Impresora
- 1 Cartucho de tinta negra para impresora

**b) Equipo de medición de parcelas y puntos de extracción de núcleos de suelo**

- 2 Cintas métricas de 50 m
- 1 Plantador de bulbos (ProPlugger: “5in1 Planting tool”)
- 1 Cinta métrica de 1 m
- 1 Cinta de marcaje
- 2 Lazos para delimitación de 20 m
- 1 Machete
- 12 Boletas para toma de datos de núcleos de suelo colectados por sitio de muestreo

**c) Equipo para colecta botánica**

- 12 Bolsas de 25 lb
- 1 Tijera para podar
- 1 Densiómetro
- 12 Boletas para toma de datos de vegetación colectada.

**ii. Equipo para procedimientos de invernadero****a) Material para procedimientos de invernadero**

- 500 Bandejas de plástico abisagrada GP-250P (23.7cm x 18.7 cm x 9.6 cm)
- Papel periódico
- 1 Atomizador
- 2 Recipientes de plástico
- 1 Cernidor con luz de 0.5 mm
- 5 costales de arena de río cernida y estéril

**iii. Material de oficina**

- 1 Resma de papel bond de 80g tamaño carta.
- 1 Marcador permanente.
- 1 Rollo de masking tape.
- 1 Lápiz

#### iv. **Recurso humano**

Investigadora:

Br. María Fernanda Ramírez

Posadas

Asesor:

Lic. Manolo García Vettorazzi

Revisor:

M. en C. Javier A. Rivas Romero

Personal de campo de CECON:

1 o 2 guarda recursos por  
muestreo

### C. **Métodos**

#### i. **Diseño experimental**

##### a) **Tratamientos**

La caracterización del banco de semillas germinadas presentes en el BSS, se enfocó en el suelo del bosque de planada (bosque alto en terreno con poca pendiente) (Ixcot, 2005, p. 13). Bajo el concepto de bosque secundario<sup>3</sup> y el supuesto de la sustitución de espacio por el tiempo (cronosecuencia)<sup>4</sup>, se definen las siguientes categorías de regeneración:

- a) Bosque secundario de 0 a 5 años en regeneración
- b) Bosque secundario de 6 a 10 años en regeneración
- c) Bosque secundario de 11 a 20 años en regeneración
- d) Bosque sin perturbación aparente

---

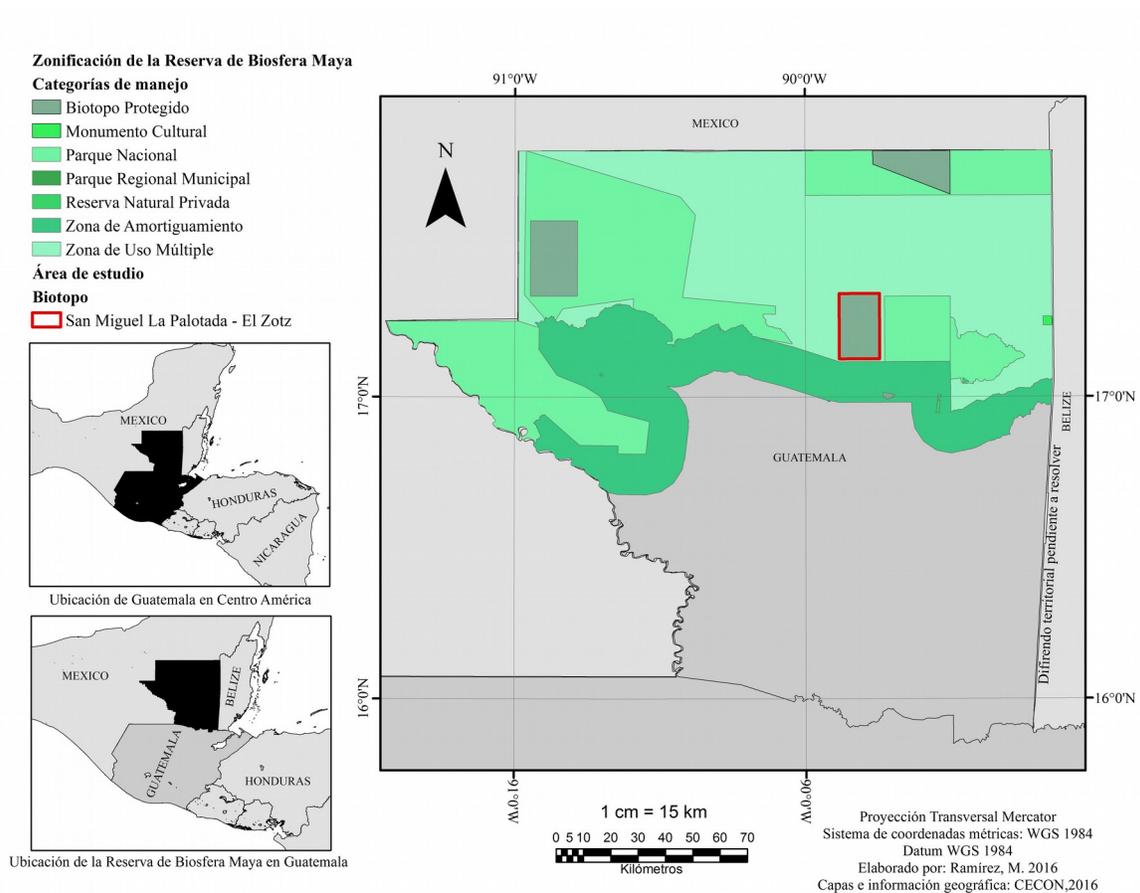
<sup>3</sup> *Bosque secundario*: vegetación que se desarrolla principalmente a través de procesos naturales después de que la original fue perturbada significativamente o eliminada por eventos naturales y/u originados por el ser humano en un solo punto en el tiempo o durante un período prolongado, y que muestran una gran diferencia en cuanto a la estructura y/o composición de las especies de dosel con respecto a bosques primarios cercanos de sitios similares (Chokkalingam & De Jong, 2001, p. 21).

<sup>4</sup> En estudios de sucesión, en lugar de realizarse estudios a lo largo del tiempo, se hace uso de una serie de sitios que difieren en edad desde una condición inicial, bajo el supuesto que la única diferencia entre estos es la edad, y que cada sitio comparte la misma historia de desarrollo en sus componentes abióticos y bióticos (Johnson & Miyanishi, 2008, p. 420).

## ii. Técnicas de recolección de datos en campo

### a) Muestreo del banco de semillas del suelo (BSS)

El muestreo del BSS se realizó a partir la toma de núcleos de suelo colectados en cuatro categorías de regeneración durante la temporada lluviosa del año 2014 en el Biotopo Protegido San Miguel La Palotada El Zotz (**Figura 4**).

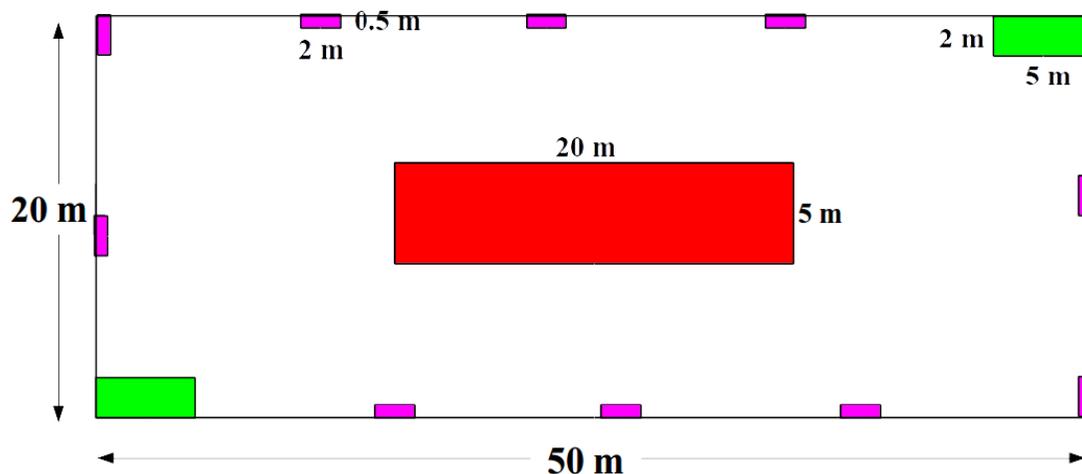


**Figura 4: Zonificación de la Reserva de Biosfera Maya y ubicación geográfica del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada El Zotz.** Fuente: Elaboración propia; información geográfica proveída por el Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos de Guatemala -CECON/USAC-.

Cada categoría de regeneración contó con tres réplicas para un total de 12 sitios de muestreo. De los doce sitios de muestreo, ocho se ubicaron dentro de las parcelas utilizadas por el estudio “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” (García et al., 2015a). Los cuatro sitios restantes se seleccionaron y ubicaron en base a los registros de perturbación e información brindada por los guarda recursos del biotopo sobre áreas que habían sufrido alguna perturbación desde su establecimiento.

En cada sitio de muestreo se usaron las parcelas modificadas de Whitaker de 0.1 Ha con subparcelas anidadas utilizadas para la caracterización de la vegetación en el estudio de García *et al* (2015a) y se trazaron bajo la misma metodología para los sitios de muestro que no coincidieron con los de este estudio (**Figura 5, pág. 26**).

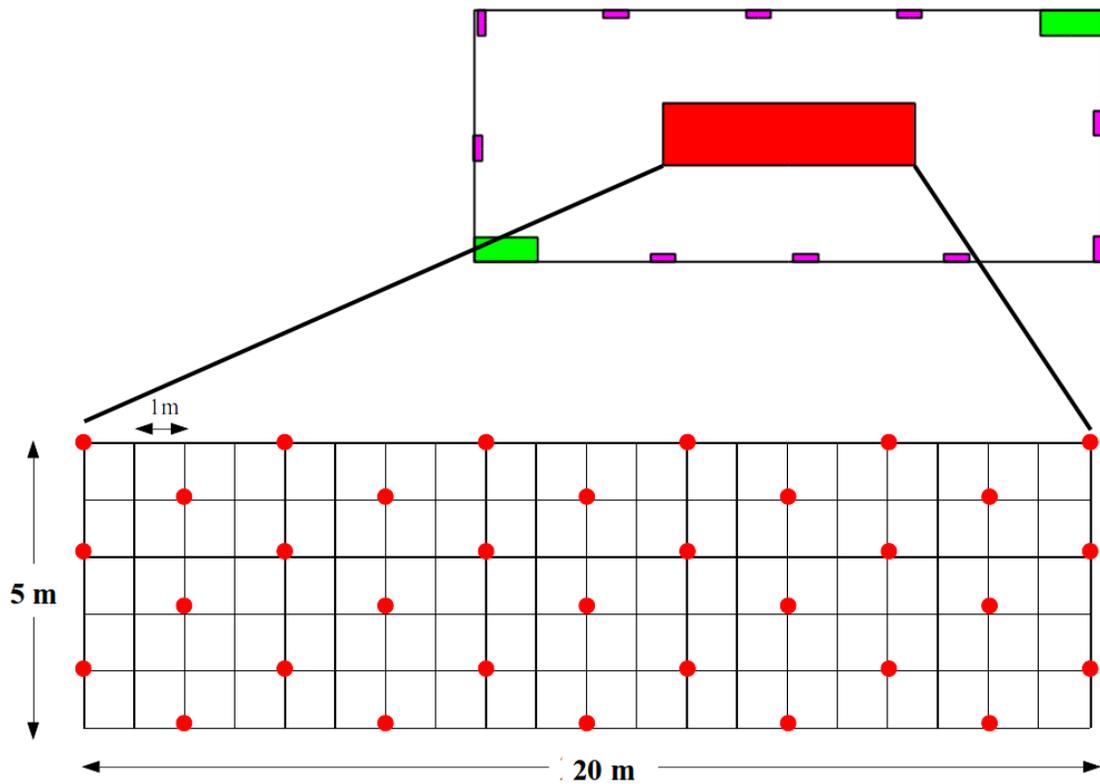
Cada parcela fue trazada paralela al gradiente ambiental definido por la pendiente del sitio para abarcar la mayor parte de la heterogeneidad ambiental que se crea por ésta. En la subparcela central usada para caracterizar el estrato arbustivo (20 m x 5 m), representada en color rojo, se extrajeron los núcleos de suelo para la toma de datos del BSS.



**Figura 5: Parcela modificada de Whittaker de 0.1Ha de subparcelas anidadas.** En ellas se caracterizó la vegetación a través del registro y cuantificación de individuos de los estratos arbóreos, arbustivo, subarbustivo y herbáceo por medio de subparcelas anidadas de 50x20m, 20x5m, 5x2, 2x0.5m, respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

En la subparcela anidada usada para la caracterización del estrato arbustivo en un área de 100 m<sup>2</sup> (20 m x 5 m) se estableció una cuadrícula de 1 m<sup>2</sup>. Según el patrón que se estableció con ayuda de los puntos de intersección de la grilla como se muestra en el **Figura 6 pág. 27**, se extrajo un núcleo de suelo por punto seleccionado, extrayendo en total 33 núcleos de suelo por parcela (396 núcleos de suelo extraídos en total). Previo a la extracción de cada núcleo de suelo se midió el espesor de la hojarasca con regla graduada y se describieron sus principales componentes (hojas, raíces, rocas, etc.).

Cada núcleo de suelo se extrajo con un plantador de bulbos (ProPlugger: “5in1 Planting tool”). Obteniendo núcleos cilíndricos de suelo con un diámetro de 5.40 cm y una altura de 9.87 cm en promedio. Cada núcleo de suelo se colocó en bolsas plásticas con cierre tipo “ziplock”, rotuladas.



**Figura 6: Diseño de parcela de muestreo de banco de semillas del suelo en parcela de 100 m<sup>2</sup> (20m x 5m).** Los puntos rojos indican el lugar en donde se extrajo la muestra de suelo. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se procedió a reconcentrar cada muestra de suelo por medio de un tamiz grueso (~10 mm) para eliminar raíces, guijarros, etc. En la parte superior del tamiz se recolectaron todas las semillas mayores a 10 mm presentes. La muestra de suelo tamizada y las semillas mayores a 10 mm se secaron a la sombra durante 24 horas y luego se guardaron para su posterior evaluación de emergencia de plántulas del BSS.

## b) Caracterización de la vegetación

Para describir la vegetación en pie (vegetación establecida) de cada sitio de muestreo se usaron los datos de frecuencia de la vegetación reportada por García *et al* (2015a). En este estudio se registraron y cuantificaron los individuos de los estratos arbóreos, arbustivo, subarbustivo y herbáceo mediante el trazo de parcelas modificadas de Whitaker de 0.1 Ha de subparcelas anidadas de 50x20m, 20x5m, 5x2, 2x0.5m, respectivamente. Así mismo, se trazaron parcelas modificadas de Whitaker de 0.1 Ha para los sitios de muestreo que no coincidieron con los del estudio.

En cada sitio de muestreo, además de la cobertura vegetal, se registraron factores abióticos como profundidad de la hojarasca y humus, y la pendiente, con ayuda de una regla graduada e información del recorrido registrado en GPS, respectivamente. Así mismo, se realizó una aproximación en campo de la textura, porosidad y pH del suelo de cada sitio de muestreo de la siguiente manera:

- **Textura del suelo**<sup>5</sup>: con ayuda de un tamiz de menos de 2 mm se removieron las partículas mayores como la grava y las piedras de la muestra de tierra. Con el método del tacto se determinó la textura de la muestra de suelo a través de la plasticidad y resistencia del suelo (Gesford, 2006, pp. 6–33). Clasificándola de la siguiente manera:
  - Arena: si al humedecerla, forma una esfera de 3 cm de diámetro y al dejarla caer se desmorona.

---

<sup>5</sup> **Textura del suelo**: contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo (FAO, 2003, en web).

Si la muestra al humedecerla, forma una esfera de 3 cm de diámetro aproximadamente y al dejarla caer mantiene la cohesión:

- Arenoso franco: si al formar un cilindro de 6 a 7 cm de longitud no mantiene la forma.
- Franco arenoso: si tras formar un cilindro de 6 a 7 cm de longitud y amasar hasta alcanzar 15 a 16 cm no mantiene la forma.
- Franco: si tras formar el cilindro de 15 a 16 cm no es posible formar un semicírculo.
- Franco pesado: si tras formar el cilindro de 15 a 16 cm es posible formar un semicírculo, pero no formar un círculo.
- Arcilla ligera: si tras formar el cilindro de 15 a 16 cm es posible formar un círculo con ligeras grietas.
- Arcilla: si tras formar el cilindro de 15 a 16 cm es posible formar un círculo sin que se agriete.

(FAO, 2003, en web; Gesford, 2006, p. 33; López, 2012, en web; Soto & Martí, 2001, p. 43).

- **Porosidad del suelo:** se llenaron dos probetas hasta el mismo volumen, una con tierra y otra con agua. Luego, se vertió el agua sobre la tierra y se anotó el volumen alcanzado. La porosidad de la tierra correspondió al porcentaje de diferencia con respecto a la suma de los dos volúmenes iniciales (Del Valle, 2012, en web).
- **pH del Suelo:** se mezclaron 20 g de tierra seca con 40 o 50 mL de agua destilada; se agitó por un minuto y tras 24 horas de reposo se tomó la medición con tiras para pH (Del Valle, 2012, en web).

### iii. **Procedimientos en invernadero: Evaluación de la emergencia de plántulas del banco de semillas del suelo y su identificación**

La determinación de la densidad y composición del banco de semillas se realizó por el método de germinación directa, evaluando la germinación de las plántulas a partir de los núcleos de suelo colectados. Estos ensayos se llevaron a cabo durante agosto del año 2014 a marzo del año 2015 en el invernadero del Jardín Botánico<sup>6</sup> del CECON de la USAC. El cual se mantuvo con luz natural, la temperatura osciló entre 17.43 a 23.89°C y la humedad relativa entre 62.05 y 82.05 %, tras ser medidos con un termómetro de mínimos y máximos, y con un higrómetro.

Cada uno de los núcleos de suelo reconcentrados fueron esparcidos en una bandeja plástica. Al fondo de cada bandeja se colocó una hoja de papel periódico para prevenir pérdida de semillas por los agujeros de drenaje, al mismo tiempo que permite una distribución de la humedad homogénea. Sobre el papel se colocó un sustrato de arena de río esterilizada<sup>7</sup> hasta llegar a 2 cm de altura dentro de la caja para dar soporte y retener la humedad de la muestra (**Anexo Ai, pág. 97**). La profundidad de la capa conformada por el núcleo de suelo extraído fue extendido sobre el sustrato con un grosor de 5 mm a 20 mm, para permitir que toda la muestra quede expuesta a iguales condiciones de luz, humedad y temperatura (Butler & Chazdon, 1998, p. 215; Heerd et al., 1996, p. 150).

Las bandejas por sitio de muestreo fueron colocadas al azar a lo largo de los tabloncillos del invernadero (**Anexo Aii, pág. 98**), para homogeneizar las condiciones ambientales que se puedan generar en éste. Así mismo, se colocaron 24 bandejas a manera de control: 18 con sustrato de arena estéril y una muestra por cada sitio que

---

<sup>6</sup> El Jardín Botánico se ubica en la avenida Reforma 0-63, zona 10, Ciudad de Guatemala, Guatemala.

<sup>7</sup> La esterilización se llevó a cabo sometiendo durante 10 minutos arena de río tamizada previamente humedecida en un microondas LG intelowave a máxima potencia.

fue sometida a un ciclo de 1 hora a 120°C en un autoclave, a fin de comprobar la existencia o no de contaminación por semillas locales debido a dispersión por viento u otros, excluyendo de los análisis todas aquellas plántulas que germinaran en éstas (Alvarez-Aquino, Williams-Linera, & Newton, 2005, p. 338; Butler & Chazdon, 1998, p. 216).

Las muestras de cada colecta permanecieron bajo condiciones de germinación durante siete meses (agosto del año 2014 a marzo del año 2015). El riego se realizó con agua corriente una vez por semana o según fue necesario, y se realizaron observaciones semanales para evitar pérdidas de registros por mortalidad de plántulas (Heerdt et al., 1996, p. 150). Al momento de realizar el conteo total de plántulas emergidas se registraron en una boleta los siguientes datos: número de bandeja, procedencia de la muestra, identidad taxonómica tratando de llegar hasta familia, género y especie o su morfoespecie correspondiente. Se contó con el apoyo del Ing. Mario Véliz para la determinación taxonómica de las plántulas que habían alcanzado un mayor desarrollo.

Posteriormente, las plántulas emergidas se trasladaron a bolsas de almácigo con sustrato 1:1 arena/tierra negra para facilitar en un futuro la determinación taxonómica de las morfoespecies no identificadas. De estos especímenes, los individuos que lleguen a un estado de floración (limitándose a hierbas y gramíneas) serán sometidos a un proceso de herborización e ingresarán al herbario USCG del CECON. Finalmente, se elaboró un catálogo de fotografías digitales de las plántulas emergidas.

#### **iv. Análisis estadístico**

La caracterización del banco de semillas del suelo y vegetación en pie de un bosque alto en el Biotopo Protegido San Miguel La Palotada El Zotz se analizó a nivel de las cuatro condiciones de regeneración y a nivel de biotopo en general.

##### **A. Riqueza, densidad y diversidad del BSS en cuatro condiciones de regeneración natural del bosque**

###### *1. Riqueza del BSS*

En base al registro de germinantes del BSS procedente de cuatro categorías de regeneración se cuantificó para cada una la riqueza de especies (S) como el número total de especies o morfoespecies observadas (en adelante se hará referencia como especies) y la abundancia (frecuencia de especímenes) por sitio de estudio, por categoría de regeneración (riqueza promedio de las tres réplicas junto a una desviación estándar) y por todo el Biotopo. Presentando sus histogramas.

###### *2. Densidad del BSS*

Como medida de la densidad del BSS para el biotopo se calculó el número de semillas en el área muestreada (abundancia total dividido el área total muestreada  $0.88 \text{ m}^2$ ) y como medida de la composición se estimó la densidad de especies total (promedio de riqueza en todos los sitios entre  $0.88 \text{ m}^2$ ). De igual manera se estimó la densidad y composición (densidad de especies) por categoría de regeneración agrupando los tres sitios de estudio (réplicas) de cada categoría, donde el área de muestreo por categoría corresponde a  $0.22 \text{ m}^2$ , presentando los valores como promedios junto a una desviación estándar.

### 3. *Diversidad del BSS*

La diversidad de especies se calculó por categoría de regeneración y para todo el biotopo, considerando todo el ensamble del BSS con la misma área de muestreo, mediante el índice de equidad de Shannon-Winner ( $H'$ ) y el índice de dominancia de Simpson ( $D$ ), con ayuda del programa EstimateS 9.1.0 (Colwell, 2013), de acuerdo con las siguientes formulas:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad \text{y} \quad D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Donde,  $S$  se refiere a la riqueza y  $p_i$  a la proporción de semillas de la especie  $i$  en la muestra.

Tanto el índice  $H'$  como  $D$  aumentan a medida que la riqueza aumenta, para un determinado patrón de uniformidad, e incrementa como la uniformidad para una riqueza dada. Sin embargo no siempre ponderan en el mismo orden los ensambles. El índice  $D$  pondera en mayor grado la ocurrencia de las especies de mayor abundancia, denominadas “dominantes”, siendo menos sensible a la riqueza y más sensible a la uniformidad que  $H'$ . El índice  $H'$ , a su vez pondera en mayor grado la ocurrencia de las especies de menor abundancia (es decir, especies raras), de manera que entre mayor es  $H'$ , la comunidad es más diversa, siendo más sensible a la uniformidad que un simple conteo de especies (riqueza,  $S$ ) (Colwell, 2009, p. 260; Magurran, 2004, pp. 107, 114).

Para cada índice se corroboró la existencia de diferencias significativas entre las categorías de regeneración por medio de análisis de varianza. Con la diversidad de especies evaluada según el índice de Shannon, al cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad se procedió a realizar un análisis paramétrico y se aplicó con un nivel de confianza del 95% el análisis de varianza de una vía (ANOVA).

El índice de Simpson, al no cumplir con los supuestos para la realización de un análisis paramétrico se procedió a realizar el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis con un nivel de confianza del 95%. Todos estos análisis se realizaron en el programa estadístico R (R Core Team, 2014).

## **B. Comparación de la composición y densidad total del BSS en cuatro condiciones de regeneración natural del bosque**

### *1. Composición del BSS*

Para explorar la composición y los patrones de diversidad del BSS se realizaron curvas de rango-abundancia a través del paquete estadístico BiodiversityR (Kindt & Coe, 2005) del programa estadístico R (R Core Team, 2014). A partir del cual se estimó el número total de individuos para cada especie, y se clasificaron las especies de la más abundante a las menos abundante.

### *2. Densidad del BSS*

Se comparó la densidad del BSS y composición (densidad de especies por 0.22 m<sup>2</sup>) entre las categorías de regeneración para evaluar la existencia de diferencias significativas dentro de cada categoría y entre categorías mediante un análisis de varianza. Primero, se evaluó la distribución normal y la homogeneidad de las varianzas de la densidad y composición entre las categorías de regeneración a través de la prueba de Shapiro-Wilk con el paquete estadístico stats (R Core Team, 2014) y prueba de Levene con el paquete car (Fox & Weisberg, 2011) ambos en el programa estadístico R (R Core Team, 2014). Al no cumplirse los supuestos para la realización de un análisis paramétrico se procedió a realizar el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis con un nivel de confianza del 95%.

### **C. Comparación entre la riqueza del BSS y la riqueza de la vegetación en pie en cuatro condiciones de regeneración del bosque**

#### *1. Riqueza y abundancia de la vegetación en pie*

En base al registro de la vegetación en pie registrada en las cuatro categorías de regeneración se cuantificó, para cada una, la riqueza de especies (S) como el número total de especies o morfoespecies observadas y la abundancia (frecuencia de especímenes) por sitio de estudio, por categoría de regeneración (riqueza promedio de las tres réplicas junto a una desviación estándar) y por todo el Biotopo. Presentando sus histogramas.

#### *2. Comparación entre la riqueza del BSS y la riqueza de la vegetación en pie*

Se comparó la riqueza del BSS y de la vegetación en pie en cuatro condiciones de regeneración, tras la realización de las pruebas de normalidad y homocedasticidad se estableció que ambas matrices cumplían con los supuestos para la realización de un análisis paramétrico, por lo que se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%, y se realizó un diagrama de caja de Tukey.

Para explorar de manera indirecta el efecto de las variables ambientales (pendiente, altura de hojarasca, textura, porosidad, pH, cobertura vegetal) sobre la matriz de sitios por especies tanto de la vegetación en pie como del BSS se relacionaron los ejes resultantes del NMDS con el paquete estadístico BiodiversityR (Kindt & Coe, 2005) del programa estadístico R (R Core Team, 2014).

## D. Resultados complementarios

### 1. Representatividad del esfuerzo de muestreo

Para establecer el porcentaje de detección de la diversidad de especies presentes en el BSS y en la vegetación en pie del BPSMPZ, se cuantificó el esfuerzo de muestreo en las cuatro categorías de regeneración y para todo el biotopo, a través de curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia en las unidades de muestreo con ayuda del programa EstimateS 9.1.0 (Colwell, 2013). Al mismo tiempo, se extrapolaron una curva empírica de rarefacción basada en muestras en la que se estimó, con intervalos de confianza, cuántas especies serán encontradas en un conjunto mayor de muestras del mismo ensamble (Colwell, Mao, & Chang, 2005, pp. 74–75).

Por categoría de regeneración y para todo el biotopo se estimó el porcentaje del esfuerzo realizado al comparar la riqueza observada ( $S_{obs}$ ) con el estimador de riqueza de especies Jackknife de primer orden ( $S_{jack\ 1}$ ) y con el índice estructural de la diversidad de CHAO 1 ( $S_{Chao1}$ ), ambos índices calculados mediante el programa EstimateS 9.1.0 (Colwell, 2013), de acuerdo con las siguientes formulas:

$$S_{Jack1} = S_{obs} + Q_1 \left( \frac{m-1}{m} \right) \quad y \quad S_{Chao1} = S_{obs} + \frac{F_1^2}{2 F_2}$$

En donde,  $S_{obs}$  se refiere al número de especies en la muestra;  $Q_1$  al número de especies encontradas en una única muestra,  $m$  representa al número de muestras,  $F_1$  al número de especies observadas representadas por un individuo (singletons); y  $F_2$  al número de especies representadas por dos individuos en las muestras (doubletons) (Magurran, 2004, p. 87,89).

El estimador de Jackknife de primer orden ( $S_{\text{jack1}}$ ), es una técnica estadística general que reduce el sesgo de los valores estimados, al reducir la subestimación del verdadero número de especies en una comunidad con base en el número representado en una muestra, reduciendo el sesgo del orden  $1/m$ . El índice estructural de la diversidad de CHAO 1 ( $S_{\text{chao1}}$ ), es un estimador del número de especies en un sitio basado en las especies raras en la muestra. A pesar de su simplicidad se le considera un estimador robusto para la riqueza mínima, pues estima el número de especies esperadas considerando la relación entre el número de especies representadas por un individuo “singletons” y el número de especies representadas por dos individuos en las muestras “doubletons” (Colwell, 2013; Gotelli & Colwell, 2011, pp. 40, 51; Magurran, 2004, pp. 87, 89; Moreno, 2001, pp. 32, 40).

## 2. *Composición de la vegetación en pie*

Para explorar la composición y los patrones de diversidad de la vegetación en pie se realizaron curvas de rango-abundancia a través del paquete estadístico BiodiversityR (Kindt & Coe, 2005) del programa estadístico R (R Core Team, 2014). A partir del cual se estimó el número total de individuos para cada especie, y se clasificaron las especies de la más abundante a las menos abundante.

## 3. *Comparación entre la abundancia del BSS y la abundancia de la vegetación en pie*

Se exploró la composición de las especies registradas para el BSS y la vegetación en pie de acuerdo a su abundancia relativa (abundancia de las semillas germinadas dividido por el total de semillas observadas), a nivel de categoría de regeneración y de todo el biotopo. Las especies registradas fueron

agrupadas en tres categorías de acuerdo a su abundancia relativa, como: especies raras (abundancia relativa menor a 0.10); especie moderada (abundancia relativa de 0.10 a 0.25) y especies comunes (abundancia relativa mayor a 0.25).

Posteriormente, se estimó el porcentaje de cada especie por categoría y se realizó un histograma estratificado para comparar el cambio de composición de especies a lo largo de las categorías de regeneración y entre el BSS y la vegetación en pie. En base a la matriz de abundancia de especies por categoría de regeneración del BSS y la vegetación en pie se cuantificaron las especies exclusivas de cada tratamiento y presentaron los resultados a través de un histograma.

#### 4. *Comparación entre la diversidad del BSS y la diversidad de la vegetación en pie*

Se construyeron curvas de rango-abundancia para todo el biotopo del BSS y de la vegetación en pie y se procedió a compararlas. En estas gráficas el número de rango se sitúa en el eje horizontal, y la abundancia en el eje vertical en escala logarítmica.

En las curvas de rango-abundancia el ancho del eje horizontal indica la riqueza de especies, donde una curva más amplia indicará más alta riqueza de especies; y la forma de la curva de rango-abundancia es una indicación de la uniformidad. Una curva completamente horizontal es la representación de un sistema completamente uniformemente distribuido y cuanto más pronunciada sea la curva, menos uniformemente se distribuyen las especies (Kindt & Coe, 2005, p. 58).

##### 5. *Análisis de clasificación de los sitios de estudio*

Como forma de explorar la clasificación de los sitios de estudio de acuerdo a su similitud entre sí se realizó para la vegetación en pie y para el BSS un análisis de clasificación jerárquica con el paquete estadístico BiodiversityR (Kindt & Coe, 2005) del programa estadístico R (R Core Team, 2014).

El cálculo de las distancias se realizó con el índice Czekanowski (1913) mejor conocido como el índice de Sørensen (1948) por su efectividad para medidas de similitud de presencia-ausencia (Magurran, 2004, p. 173). En donde, se considera que la diferencia entre las muestras no se debe a las diferencias en el tamaño de la muestra (Wolda, 1981, p. 301).

Como procedimiento jerárquico se usó el método de Ward, donde se construyen grupos incluyendo información de la covarianza entre rasgos funcionales, produciendo generalmente grupos más diferenciados entre sí al minimizar la varianza dentro de los grupos y maximizar la varianza entre ellos (Casanoves, Pla, & Di Rienzo, 2011, p. 173; Gallardo, 2006, p. 13).

Para complementar la interpretación de cada sitio de estudio de acuerdo con las similitudes y diferencias que presentan con la vegetación en pie y con el BSS, se realizó un análisis exploratorio a partir de la matriz de similitud de Bray-Curtis teniendo en cuenta la abundancia de la vegetación y la abundancia de semillas por especie, respectivamente, en cada uno de los 12 sitios de estudio, en el que se utilizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) con el paquete estadístico BiodiversityR (Kindt & Coe, 2005) del programa estadístico R (R Core Team, 2014).

El NMDS es un método de ordenación adecuado para datos no normales o que están en una escala discontinua o arbitraria, que permite trabajar con matrices con diferentes abundancias ya que el análisis baja el peso de las especies raras. Es una técnica multivariante de interdependencia que trata de representar en un espacio geométrico de pocas dimensiones las proximidades existentes entre un conjunto de objetos. Donde el mejor resultado es el que refleja el orden de rangos de las distancias de la matriz de distancias originales (Cayuela, 2009, en web; Kindt & Coe, 2005, p. 166; Rougès, 2008, p. 4).

Su estadístico de bondad de ajuste que describe la calidad de la representación de los datos en el gráfico es el estadístico denominado tensión (“*stress*”), el cual es una medida de la desviación de una relación lineal entre la distancia en la matriz original de datos y la distancia en el espacio de ordenamiento. Se espera que los valores de la tensión sean idealmente menores al 10% y no mayores al 30% para representar de manera precisa los datos de abundancia de las especies, pues al ser mayor al 30% se puede considerar que la distribución de los puntos es casi al azar (Kindt & Coe, 2005, p. 166; Oksanen, 2015, pp. 3–4; Rougès, 2008, p. 4).

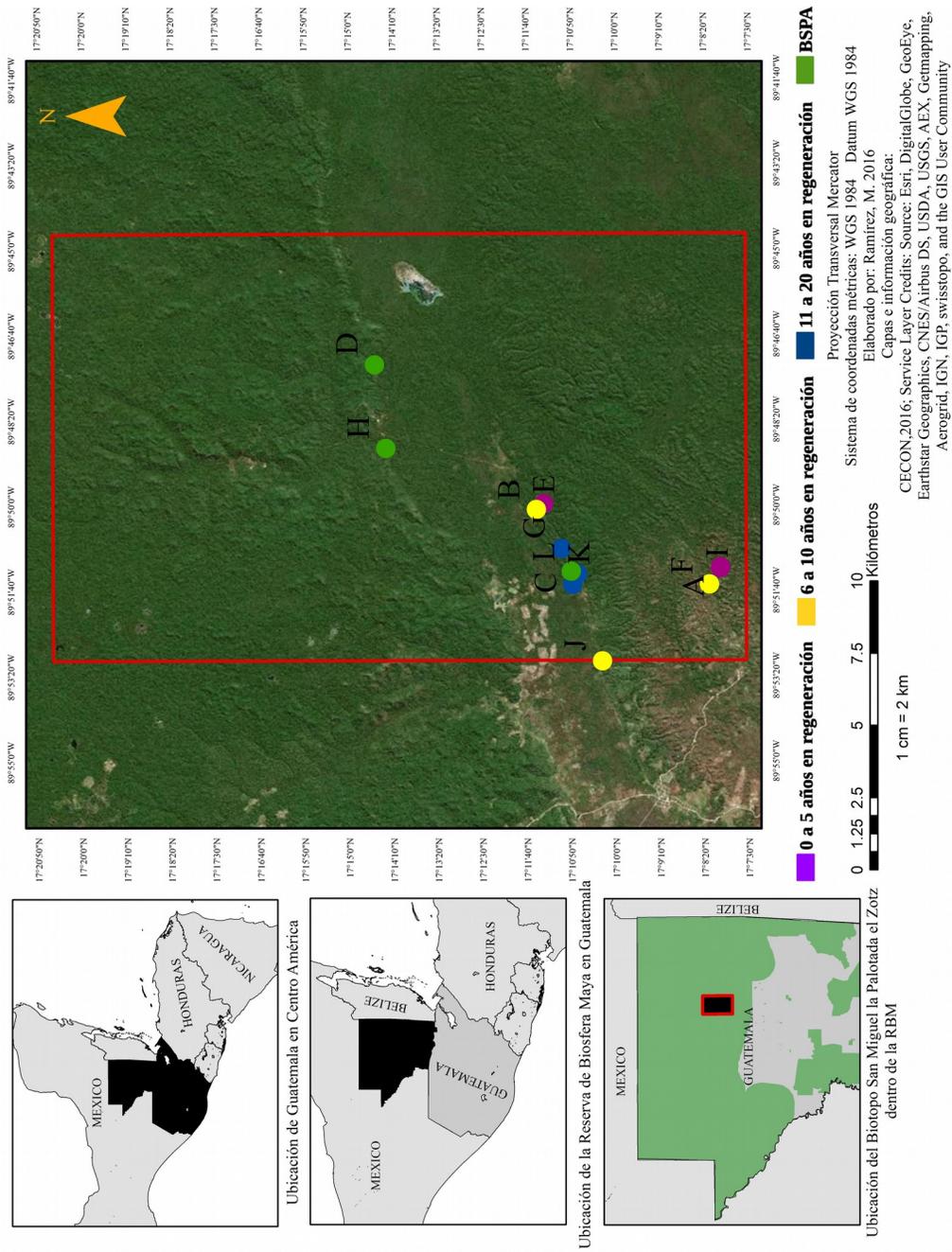
## VII. RESULTADOS

En los 12 sitios de estudio se colectaron un total de 396 núcleos de suelo, los cuales fueron sometidos a condiciones de invernadero para la caracterización del BSS del BPSMPZ (**ver Cuadro 1 pág. 41 y Figura 7 pág. 42**). Los sitios de estudio de las categorías en regeneración natural presentaron perturbaciones de tipo antropogénico, en los cuales se eliminó la vegetación en pie (cobertura vegetal establecida) para su uso en vivienda y en algunos casos para cultivo de sustento. Tras su abandono no se realizó ninguna otra perturbación ni actividad de restauración asistida.

**Cuadro 1: Ubicación geográfica de los sitios de colecta de núcleos de suelo para la caracterización del BSS de un bosque alto del BPSMPZ con coordenadas en proyección geográfica Datum WGS84.**

No.	Ubicación	Código	Latitud	Longitud	Altitud
<b>0 a 5 años en regeneración</b>					
1.	Convenio Corozal	A (*)	17.13383	-89.85356	259
2.	La Abundancia	E (*)	17.18915	-89.83284	243
3.	Convenio Corozal	I (*)	17.13389	-89.85384	261
<b>6 a 10 años en regeneración</b>					
4.	La abundancia	B (*)	17.19146	-89.83471	234
5.	Convenio Corozal	F (*)	17.13734	-89.85915	243
6.	Límite del Zotz tumba y quema	J	17.17090	-89.88406	198
<b>11 a 20 años en regeneración</b>					
7.	Milpa de Don Virgilio	C (*)	17.18013	-89.85922	183
8.	Vivienda papá de Adonis	G	17.18364	-89.84747	223
9.	Trocopas de los Hermanos	K	17.17862	-89.85575	216
<b>Bosque sin perturbación aparente</b>					
10.	Camino al palmar	D (*)	17.24190	-89.78750	263
11.	Camino al sitio	H (*)	17.23842	-89.81470	212
12.	Trocopas de los Hermanos	L	17.18061	-89.85485	222

Fuente: Elaboración propia. Donde, (\*) indican los sitios de muestreo que coinciden con los sitios empleados en el estudio de García *et al* (2015).



**Figura 7: Ubicación geográfica de los sitios de muestreo dentro del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada El Zotz, San José, Petén.** Donde, las parcelas A, E, I corresponden a la categoría de regeneración de 0 a 5 años; las parcelas B, F, J a la categoría de regeneración de 6 a 10 años; las parcelas C, G, K a la categoría de regeneración de 11 a 20 años; y, las parcelas D, H, L a bosque sin perturbación aparente. El (\*) muestra los sitios que coinciden con el estudio de García et al (2015a). Fuente: Elaboración propia.

## A. Riqueza, densidad y diversidad del BSS en cuatro condiciones de regeneración natural del bosque

### i. Riqueza del BSS

Durante agosto del año 2014 a marzo del año 2015 (7 meses) se registró un total de 3,099 germinantes distribuidas en 91 especies en un área total equivalente a 0.88 m<sup>2</sup> (**Anexo B, pág. 99**)<sup>8</sup>. Registrando por categoría de regeneración un promedio de 28.08 ± 9.33 especies con una abundancia promedio de 258.25 ± 217.29 germinantes en 0.07 m<sup>2</sup>, con una desviación estándar respectivamente (**Cuadro 2, pág. 43**).

**Cuadro 2: Riqueza y abundancia promedio de especies del BSS en cuatro categorías de regeneración natural de un bosque alto del BPSMPZ.**

	0 a 5 años en regeneración	6 a 10 años en regeneración	11 a 20 años en regeneración	Bosque Sin Perturbación Aparente (BSPA)	Total BPSMPZ
Riqueza de las especies (S)	23.67 ± 3.21	35 ± 7	33.33 ± 7.57	20.33 ± 11.37	28.08 ± 9.33
Abundancia de especies en 0.07 m <sup>2</sup>	265.67 ± 275	250.67 ± 166.43	285.33 ± 191.25	231.33 ± 342.69	258.25 ± 217.29

Fuente: Elaboración propia. Donde, los datos hacen referencia a la cifra promedio entre las réplicas junto al valor correspondiente a una desviación estándar de la categoría correspondiente.

### ii. Densidad del BSS

Los taxa germinantes fueron extraídos de un área total equivalente a 0.88 m<sup>2</sup>, presentando una densidad total 3,523.81 semillas por m<sup>2</sup> y una densidad de especies total de 91 especies en 0.88 m<sup>2</sup>. Por categoría de regeneración se observa que tanto para la densidad de especies como para la densidad de semillas las categorías de 6 a 10 años y de 11 a 20 años en regeneración, presentan los mayores promedios, respectivamente; mientras que el bosque sin perturbación aparente fue el que menor promedio obtuvo para ambos parámetros (**Cuadro 3, pág. 44 y Gráfica 1, pág. 45**).

<sup>8</sup> Durante los procedimientos de invernadero no se encontró en las bandejas control especies germinantes. Por lo tanto, se asume que todas las especies corresponden al BSS del BPSMPZ y no a fuentes de contaminación del sitio.

**Cuadro 3: Densidad de especies y de semillas del BSS en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.**

	<b>0 a 5 años en regeneración</b>	<b>6 a 10 años en regeneración</b>	<b>11 a 20 años en regeneración</b>	<b>Bosque Sin Perturbación Aparente</b>	<b>Total BPSMPZ</b>
Densidad de especies (No. especies / 0.22m <sup>2</sup> )	23.67 ± 3.21	35 ± 7	33.33 ± 7.57	20.33 ± 11.37	91 especies / 0.88 m <sup>2</sup>
Densidad de semillas (abundancia de semillas / m <sup>2</sup> )	3625.01 ± 3752.38	3893.37 ± 2609.63	3420.34 ± 2270.87	3156.54 ± 4675.95	3523.81 semillas / m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia. Donde, las cifras en la columna “Total BPSMPZ” corresponden a los datos globales de todos los sitios de estudio con una superficie de 0.88m<sup>2</sup>, mientras que el resto de datos hacen referencia a la cifra promedio entre los sitios de estudio (las réplicas) más el valor de una desviación estándar de la categoría correspondiente para una superficie de 0.22m<sup>2</sup>.

### iii. Diversidad del BSS

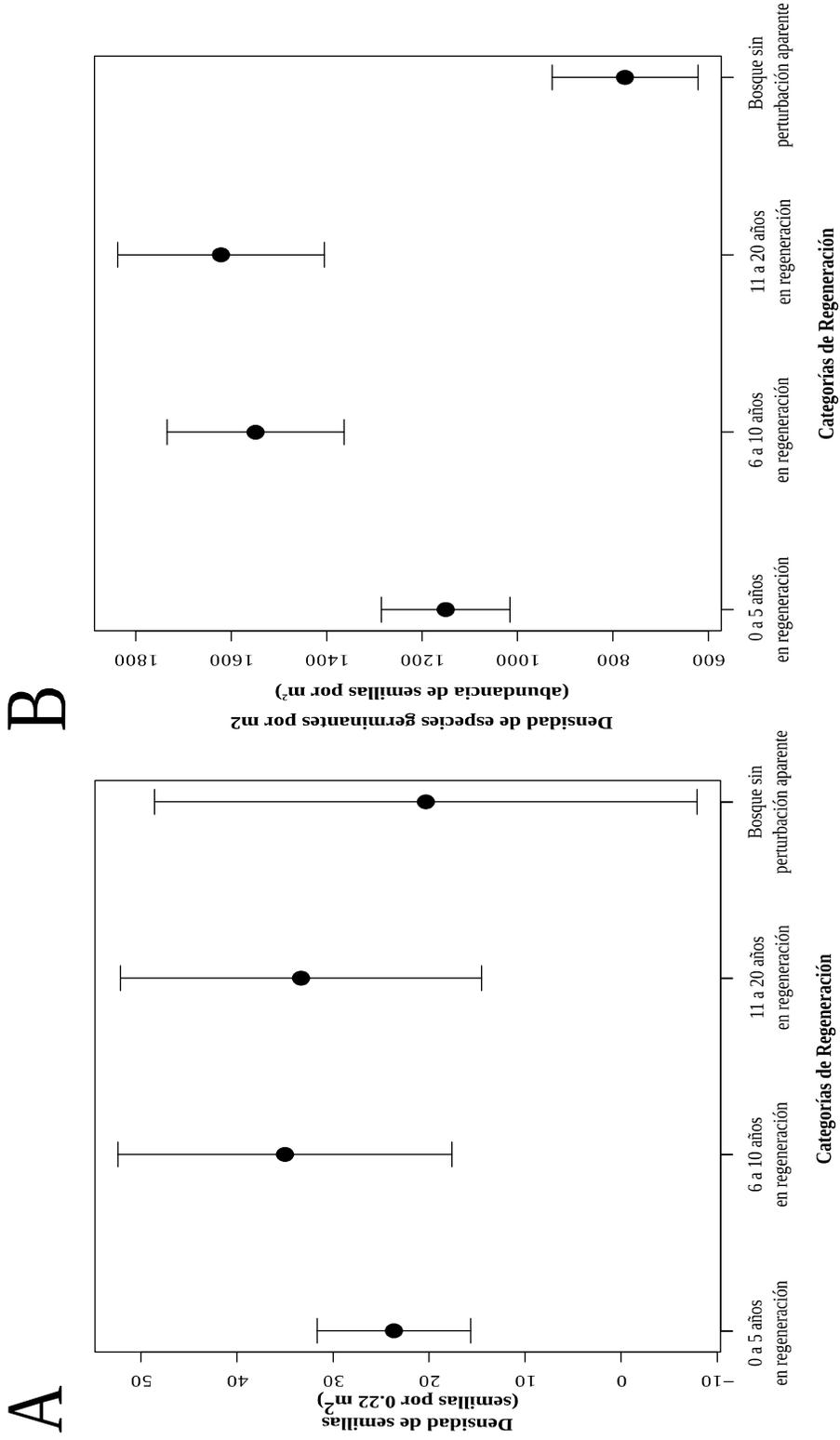
La diversidad de especies de todo el ensamble del banco de semillas del suelo en los sitios de estudio se evaluó según el índice de equidad de Shannon – Wiener (H') y el índice de dominancia de Simpson (D), obteniendo un valor de 2.77 y 0.15 respectivamente (**Cuadro 4, pág. 44**).

**Cuadro 4: Parámetros descriptivos de la diversidad alfa del BSS en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.**

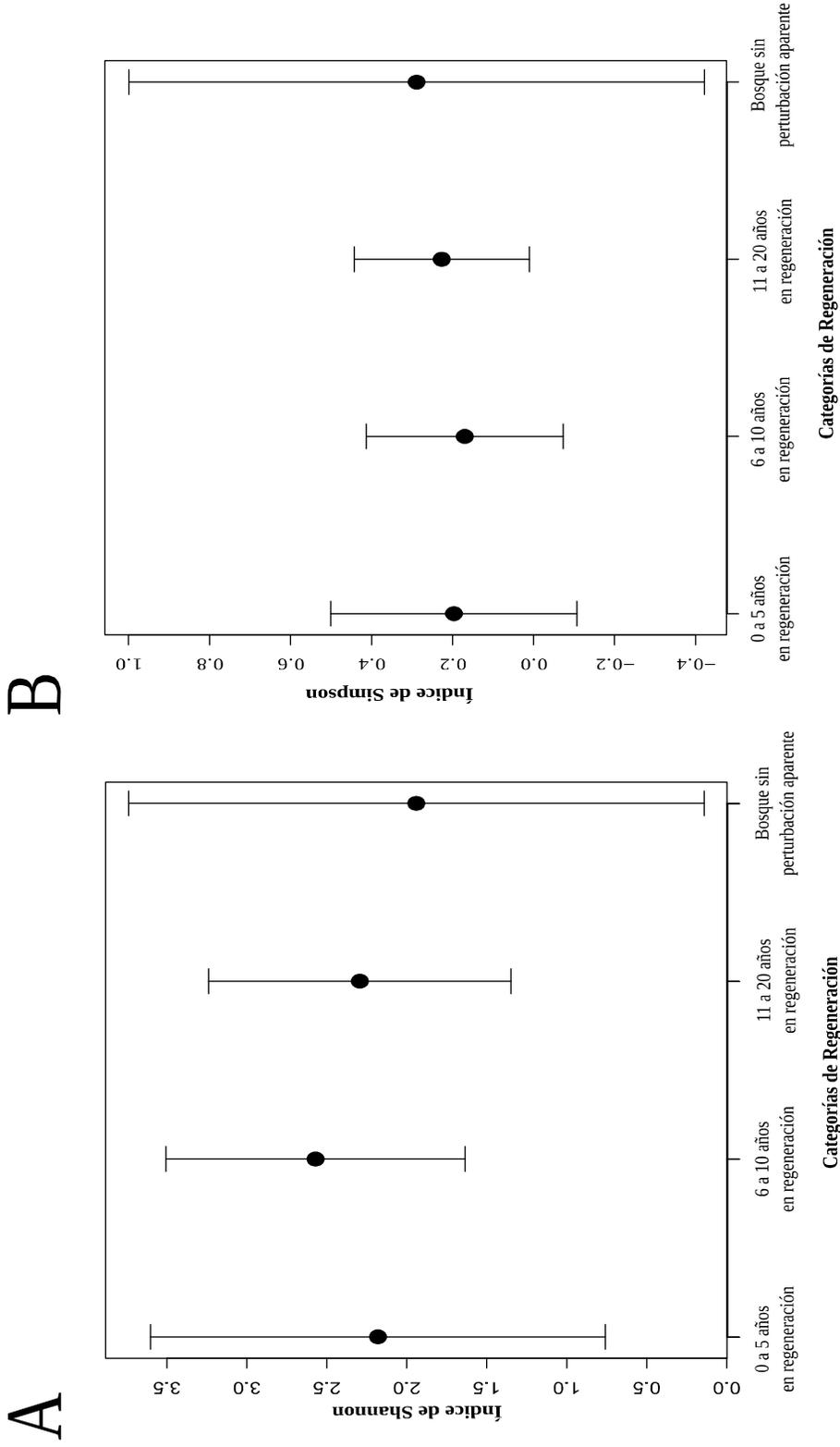
	<b>0 a 5 años en regeneración</b>	<b>6 a 10 años en regeneración</b>	<b>11 a 20 años en regeneración</b>	<b>BSPA</b>	<b>BPSMPZ</b>
Índice de equidad de Shannon – Wiener (H')	2.27	3.06	2.63	1.42	2.77
Índice de dominancia de Simpson (D)	0.19	0.09	0.17	0.53	0.15

Fuente: Elaboración propia, 2015

Al considerar el ensamble del BSS de acuerdo a las categorías de regeneración del bosque, la diversidad de especies evaluada según el índice de Shannon, tendió a ser mayor en los sitios de BSPA, seguido de la categoría de regeneración de 6 a 10 años, sin embargo, esta tendencia no fue significativa (ANOVA, P=0.567) (**Gráfica 2A, pág. 46**). De acuerdo al índice de dominancia de Simpson, la categoría de regeneración de 6 a 10 años fue la que presentó mayor equidad en el ensamble, mientras que la categoría de bosque sin perturbación aparente fue la que presentó mayor disimilitud por la dominancia de ciertas especies en el ensamble. Sin embargo, esta tendencia tampoco fue significativa (Kruskall-Wallis, P = 0.7273) (**Gráfica 2B, pág. 46**).



**Gráfica 1: Caracterización del BSS en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.** Donde, se representa por categoría de regeneración: A Densidad de especies (especies por 0.22 m<sup>2</sup>); B. Densidad de las semillas germinantes (abundancia semillas/m<sup>2</sup>). Donde, las líneas punteadas representan un intervalo de confianza del 95% y se encontró que todas las categorías de regeneración, en ambos casos, son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ). Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica 2: Diversidad de especies del o de semillas del suelo en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.** Donde, se representa por categoría de regeneración: A) Índice de equidad de Shannon – Wiener (H'); y B) Índice de dominancia de Simpson (D). Donde, las líneas punteadas representan un intervalo de confianza del 95%. En ambos casos no se encontraron diferencias significativas entre las categorías ( $P > 0.05$ ) Fuente: Elaboración propia.

## B. Comparación de la composición y densidad total del BSS en cuatro condiciones de regeneración natural del bosque

### i. Composición del BSS

Las especies más abundantes reportadas para las categorías de regeneración y para todo el BSS se encuentran representadas por especies de hábito herbáceo y subarbusivo. No se reportan especies de hábito arbóreo abundantes (**Cuadro 5, pág. 47**).

**Cuadro 5: Especies más abundantes del BSS del BPSMPZ.**

Rango	0 a 5 años en regeneración		6 a 10 años en regeneración		11 a 20 años en regeneración		BSPA		BPSMPZ	
	Especie	%	Especie	%	Especie	%	Especie	%	Especie	%
1	GE010	39.1	GE003	20.6	GE010	32.2	<i>P. umbellatum</i> (GE002; SA)	72.2	<i>P. umbellatum</i> (GE002; SA)	29.8
2	GE036	14.8	<i>P. umbellatum</i> (GE002; SA)	18.4	<i>P. umbellatum</i> (GE002; SA)	23.2	GE001 (Asteraceae; H)	6.5	GE010	20.5
3	<i>Piper umbellatum</i> (GE002; SA)	10.7	<i>P. martesianum</i> (GE007; SA)	7.2	GE036	4.2	GE020	2.2	GE003	8.3
4	GE003	8.5	GE044	5.7	GE050	3.2	GE009	1.9	GE036	5.2
5	<i>P. martesianum</i> (GE007; SA)	4	GE010	4.9	GE003	3	GE011	1.7	<i>P. martesianum</i> (GE007; SA)	3.3
6	GE013	3.8	GE050	3.1	GE001 (Asteraceae; H)	2.7	GE079	1.7	GE001 (Asteraceae; H)	3
7	GE017	3.3	GE048	2.9	GE023	2.7	GE010	1.6	GE050	2.2
8	GE050	1.9	GE017	2.7	GE022	2.2	GE004	1.3	GE044	1.9
9	GE016	1.6	GE014	2.3	GE029	1.8	GE003	1.2	GE017	1.8
10	GE001 (Asteraceae; H)	1.3	GE079	2.3	GE069	1.8	GE047	1.2	GE079	1.4

Fuente: Elaboración propia. GE: germinantes. Donde, las especies se encuentran en orden decreciente según su abundancia por tratamiento, la columna sombreada indica la proporción en la que se encuentra cada especie y entre paréntesis se indica el estrato y hábito en el que se encontró de la siguiente manera: arbóreo (A); arbustivo (Ar); herbáceo (H) y subarbusivo (SA). (**Ver Anexo B pág. 99**).

En todas las categorías de regeneración, las 10 especies más abundantes pertenecen a las familias Piperaceae y Asteraceae, las cuales se caracterizan por ser plantas pioneras.

Al comparar la uniformidad de las categorías de regeneración del BSS del BPSMPZ, se observó que la categoría de 6 a 10 años posee una mayor diversidad y, en comparación con el resto de categorías, la abundancia de las especies es más homogénea, donde las tres especies más abundantes representan el 46.2% de la abundancia total. Mientras que la categoría con menor homogeneidad corresponde al bosque sin perturbación aparente, donde las tres especies más abundantes representan el 80.9% de la abundancia total, en donde *P. umbellatum* (GE002) contribuye con el 72% de éste (**Cuadro 5, pág. 47**).

## ii. Densidad del BSS

Al comparar la composición y densidad de semillas del banco de semillas del suelo en las cuatro condiciones de regeneración del bosque por medio del análisis de varianza no paramétrico<sup>9</sup> de Kruskal-Wallis con un nivel de confianza del 95%, se observó una diferencia significativa en la varianza de la densidad y de la composición (densidad de especies) de semillas entre las cuatro categorías de regeneración ( $P < 0.05$ ) (**Gráfica 1, pág. 45**).

---

<sup>9</sup> A través del test de normalidad de Shapiro-Wilk se obtiene que es muy probable que la varianza de la densidad y la composición (densidad de especies) de semillas entre las cuatro categorías de regeneración se distribuyan normalmente ( $P= 2.2e-16$  y  $P=4.969e-15$ , respectivamente). Sin embargo a través del test de Levene se encontró una fuerte evidencia de que los promedios de los tratamientos no son homogéneos ( $P=3.693e-05$  y  $P=0.007447$ , respectivamente).

## C. Comparación entre la riqueza del BSS y la riqueza de la vegetación en pie en cuatro condiciones de regeneración del bosque

### i. Riqueza y abundancia de la vegetación en pie

La vegetación en pie incluyó un total de 354 especies con una abundancia de 2,882 individuos en un área equivalente a 12,000 m<sup>2</sup> (**Anexo C, pág. 102**). La riqueza promedio de la vegetación en pie por categoría de regeneración fue de  $50.08 \pm 7.05$  especies con una abundancia promedio de  $240.17 \pm 71.14$  especies en 1,000 m<sup>2</sup>, ambos con una desviación estándar (**Cuadro 6, pág. 49**).

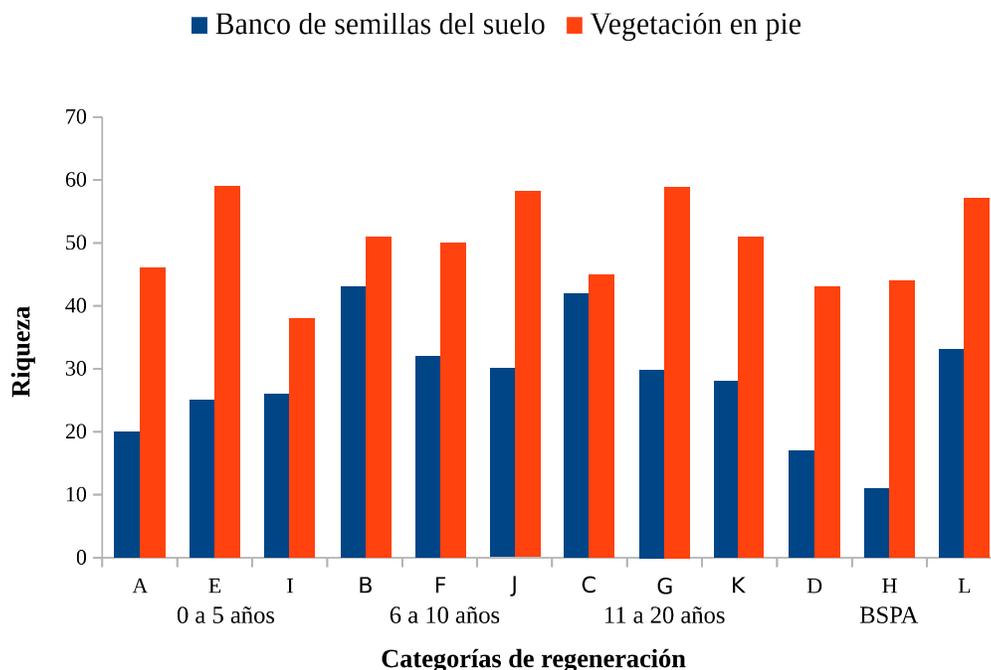
**Cuadro 6: Riqueza y abundancia promedio de especies de la vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.**

	0 a 5 años en regeneración	6 a 10 años en regeneración	11 a 20 años en regeneración	Bosque Sin Perturbación Aparente	Total BPSMPZ
Riqueza de las especies (S)	$47.67 \pm 10.69$	$53 \pm 4.36$	$51.67 \pm 7.02$	$48 \pm 7.81$	$50.08 \pm 7.05$
Abundancia de especies en 1,000 m <sup>2</sup>	$201.33 \pm 69.79$	$201.67 \pm 27.54$	$211 \pm 22.54$	$346.67 \pm 129.65$	$240.17 \pm 71.14$

Fuente: Elaboración propia. Donde, los datos hacen referencia a la cifra promedio entre las réplicas junto al valor correspondiente a una desviación estándar de la categoría correspondiente.

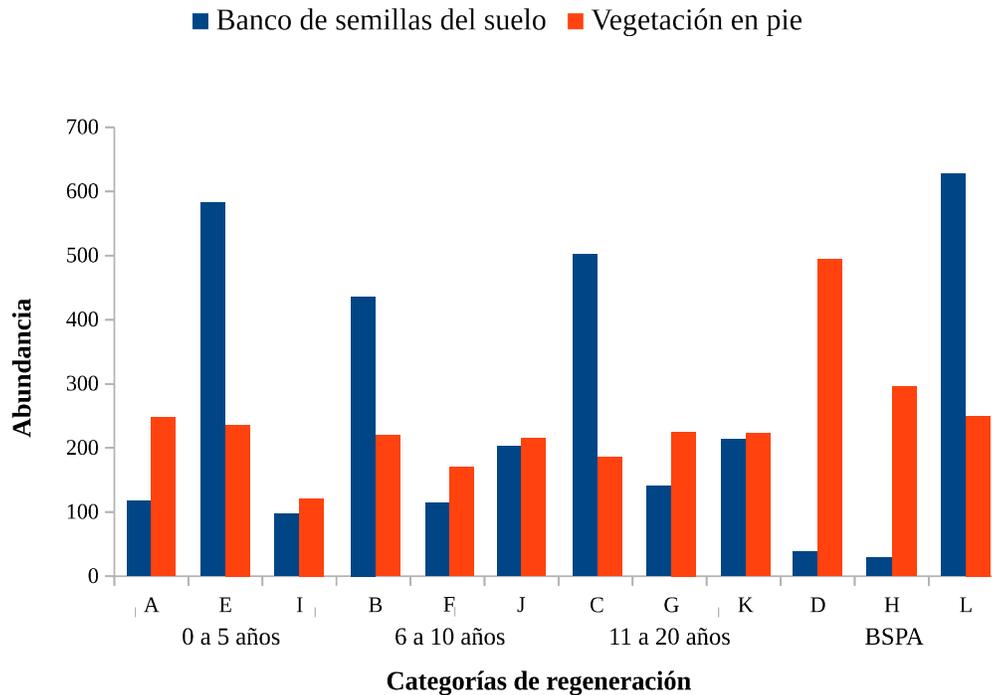
### ii. Comparación entre la riqueza del BSS y la riqueza de la vegetación en pie

En la mayoría de los sitios de estudio la riqueza y abundancia de la vegetación en pie presentó valores mayores a los del BSS. Siendo la categoría de regeneración de 6 a 10 años la que presentó mayor riqueza tanto para la vegetación en pie como para el BSS ( $53 \pm 4.36$  y  $35 \pm 7$  especies, respectivamente), mientras que la categoría con menor riqueza reportada para la vegetación en pie corresponde a la categoría de 0 a 5 años en regeneración, mientras que para el BSS corresponde a la categoría de bosque sin perturbación aparente ( $47.67 \pm 10.69$  y  $20.33 \pm 11.37$  especies, respectivamente) (**Gráfica 3, pág. 50**).



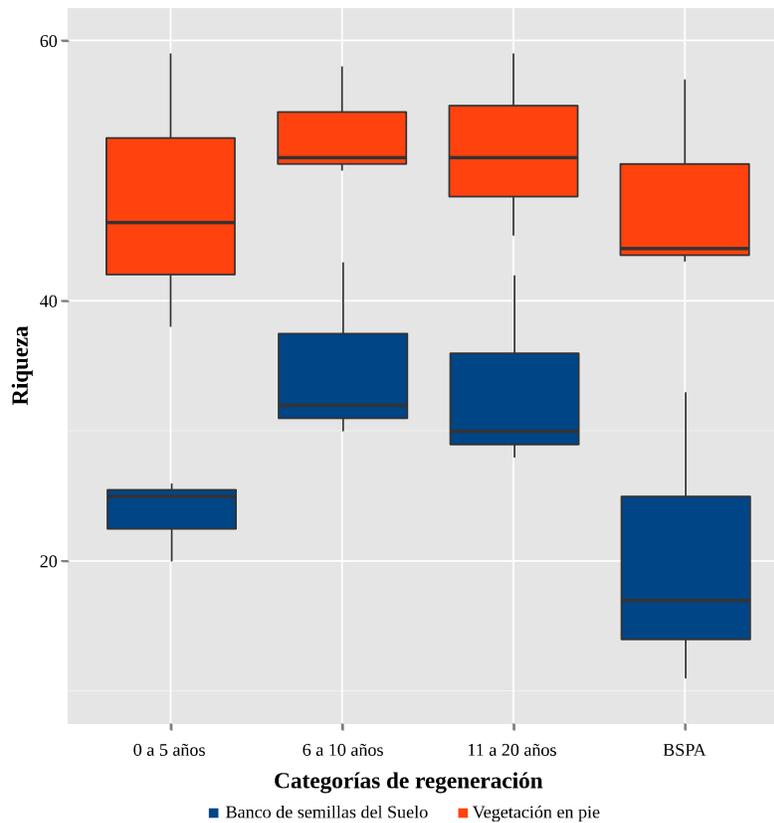
**Gráfica 3: Riqueza de especies por sitio de estudio del BSS y vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.** Donde, se representa por categoría de regeneración con una inicial cada una de las tres réplicas que las conforman. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la abundancia de individuos, se observó que para la vegetación en pie el mayor promedio corresponde a la categoría de bosque sin perturbación aparente, mientras que el menor a la de 0 a 5 años en regeneración ( $346.67 \pm 129.65$  y  $201.33 \pm 69.79$  especies en  $1,000 \text{ m}^2$ , respectivamente). Mientras que para el BSS la categoría con mayor promedio corresponde a la categoría de 11 a 20 años en regeneración y la de menor al bosque sin perturbación aparente ( $285.33 \pm 191.25$  y  $231.33 \pm 342.69$  especies en  $0.07 \text{ m}^2$ , respectivamente) (**Gráfica 4, pág. 51**).



**Gráfica 4: Abundancia de especies por sitio de estudio del BSS y vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.** Donde, se representa la categoría de regeneración con una inicial cada una de las tres réplicas que las conforman. Fuente: Elaboración propia.

Al comparar la riqueza entre la vegetación en pie y el banco de semillas del suelo en cuatro condiciones de regeneración del bosque se observó que las categorías intermedias (de 6 a 10 y de 11 a 20 años en regeneración) son las que presentan una mayor riqueza, sin embargo no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos (en ambos casos,  $P > 0.05$ ) (**Gráfica 5, pág. 52**).



**Gráfica 5: Dispersión de los datos de riqueza del BSS y de la Vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.** Donde, se representan los cuartiles por categoría de regeneración. En ambos casos no se encontraron diferencias significativas entre las categorías ( $P > 0.05$ ). Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se cuantificó a través del coeficiente de correlación lineal de Pearson ( $r=0.31$ ) que no existe evidencia significativa de una relación entre la riqueza del banco de semillas del suelo y la vegetación en pie ( $P=0.3321$ ). Sin embargo, se logra apreciar una tendencia hacia una correlación positiva débil entre estos dos grupos.

Adicionalmente, se realizó un NMDS para determinar si existe relación entre la riqueza del BSS con la pendiente, altura de hojarasca, textura, porosidad, pH y cobertura vegetal (**Cuadro 7, pág. 53**). Sin embargo, para el BSS no se encontró ninguna relación asociada con las variables descritas ( $P>0.05$ ).

**Cuadro 7: Características de los sitios de muestreo del BSS en cuatro categorías de regeneración del bosque alto del BPSMPZ.**

Código del sitio	Pendiente del sitio (°)	Profundidad núcleo de suelo (cm)	Características de la hojarasca		Características del suelo			Cobertura vegetal (%)	Riqueza de la vegetación en pie	
			Composición	Altura (cm)	Textura	Porosidad (%)	pH			
<b>0 a 5 años en regeneración</b>										
1	A	0	9.91	Muy pocas ramas y hojas	0.42	Franco	20	8	0	46
2	E	2.29	9.97	Ramas secas y muchas hojas	1.94	Arcilla ligera	20	8	74.52	59
3	I	0	9.68	Hojas secas	3.50	Franco	20	8	59.18	38
<b>6 a 10 años en regeneración</b>										
4	B	2.29	9.61	Gran cantidad de piedras, pocas ramas y hojas	4.3	Arcilla	20	8	76.34	51
5	F	0	10.12	Hojas secas	4.58	Franco arenoso	25	8	62.82	50
6	J	2.29	10	Hojas secas	5.52	Arenoso franco	25	8	87	58
<b>11 a 15 años en regeneración</b>										
7	C	8.05	9.52	Hojas secas	4.42	Franco arenoso	20	8	87.26	45
8	G	4.59	9.97	Hojas secas	6.27	Franco	22.5	8	87.78	59
9	K	4.59	9.97	Ramas secas y muchas hojas	4.85	Franco arenoso	20	8	84.14	51
<b>Bosque sin perturbación aparente</b>										
10	D	6.89	10.09	Hojas secas	3.61	Arcilla	25	8	93.76	43
11	H	6.89	9.76	Muchas hojas secas	4	Franco	17.5	8	90.38	44
12	L	9.21	9.85	Muchas hojas secas	6.70	Arena	12.5	8	88.56	57

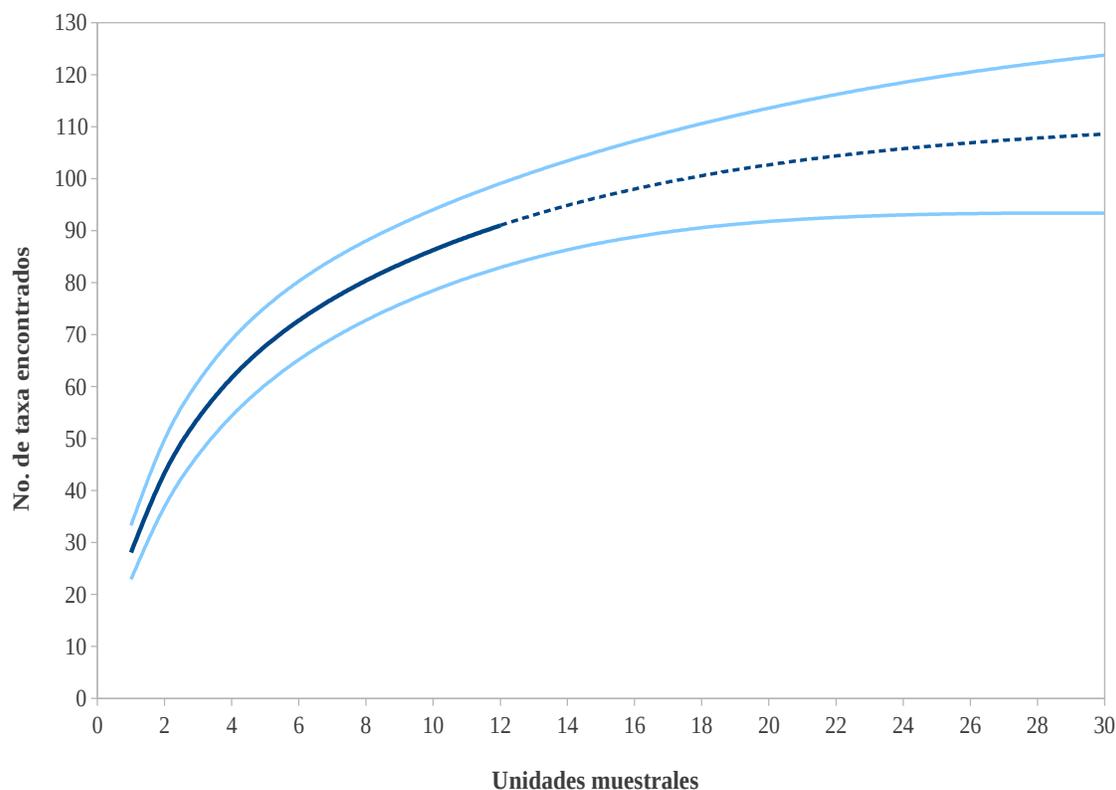
Fuente: Elaboración propia.

## D. Resultados complementarios

### i. Representatividad del esfuerzo de muestreo

#### A. BSS

La representatividad del esfuerzo de muestreo realizado para todo el BSS corresponde al 79% de las especies de semillas para el BPSMZ a través del estimador de riqueza de especies Jackknife de primer orden y del 95.83% a través del índice estructural de la diversidad de CHAO 1 (**Cuadro 8, pág. 55**). La representatividad también se observó a través de la curva de rarefacción y extrapolación de las especies observadas y estimadas muestra una forma asintótica. Indicando que el nivel de esfuerzo realizado para el BSS fue suficiente pues detectó el 79% de las especies estimadas para el área (**Gráfica 6, pág. 54**).



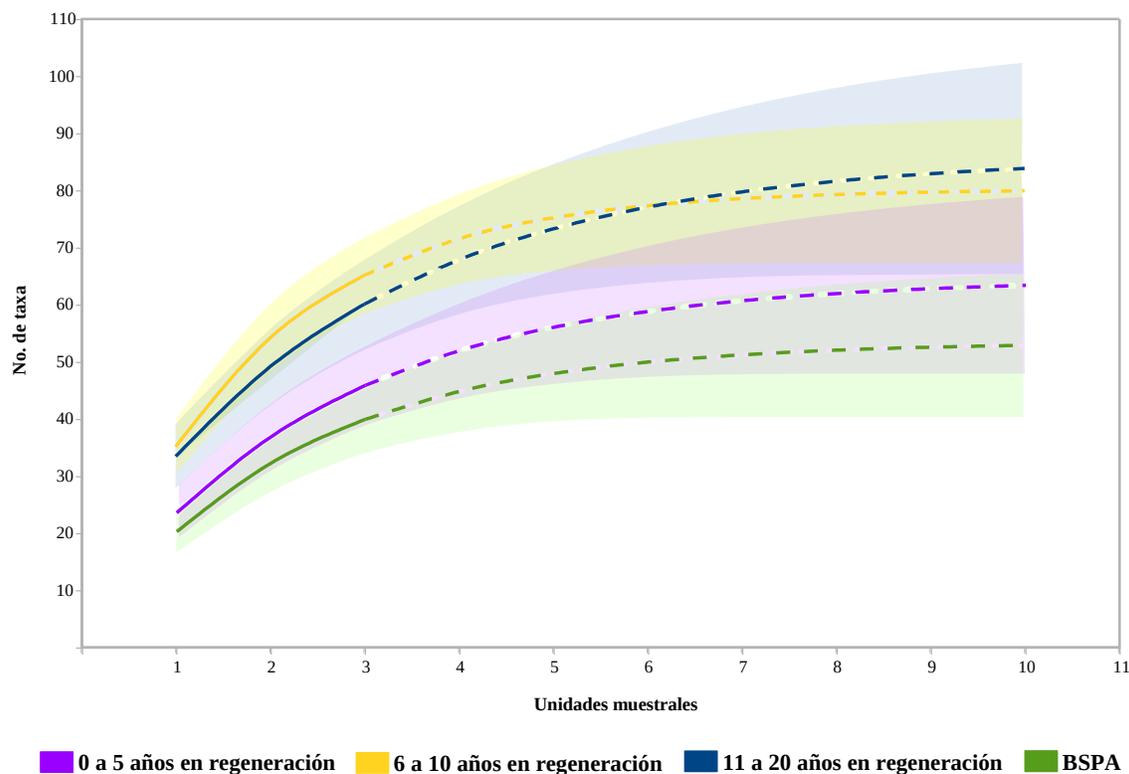
**Gráfica 6: Curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia en las unidades muestrales del BSS del bosque alto del BPSMPZ.** Donde, se representa con una línea continua la riqueza de especies observadas, y con una línea discontinua la extrapolación de las especies esperadas al aumentar el esfuerzo. El área sombreada alrededor de cada curva corresponde a los límites de confianza al 95%. Fuente: Elaboración propia.

Por categoría de regeneración se extrapoló la riqueza asintótica estimándose en la categoría de regeneración de 0 a 5 años 63.5 especies; para la categoría de 6 a 10 años 70.8 especies; para la categoría de 11 a 20 años 83.75 especies; y, para la categoría bosque sin perturbación aparente 53.19 especies, **(Cuadro 8, pág. 55 y Anexo D, pág. 110)**. La representatividad del esfuerzo de muestreo para el BSS fue del 72 a 75% de las especies para cada categoría a través de la comparación con el estimador de riqueza de especies Jackknife y con el índice estructural de la diversidad de CHAO 1 entre el 73 a 86%, siendo el porcentaje restante el correspondiente a especies poco abundantes. Finalmente, fue posible estimar que la asíntota con el valor máximo de riqueza requería un esfuerzo de 10 unidades de muestreo **(Gráfica 7, pág. 55)**.

**Cuadro 8: Representatividad del esfuerzo de muestreo del BSS en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.**

	Riqueza de germinantes observados	Número de especies esperadas			
		Estimador de riqueza de especies Jackknife de primer orden	Esfuerzo realizado	Índice estructural de la diversidad de CHAO 1	Esfuerzo realizado
<b>0 a 5 años en regeneración</b>	46	64	72%	57.65	80%
<b>6 a 10 años en regeneración</b>	65	87	75%	75.45	86%
<b>11 a 20 años en regeneración</b>	60	82	73%	69.99	86%
<b>Bosque sin perturbación aparente</b>	40	55.33	72%	54.98	73%
<b>BPSMPZ</b>	91	115.75	79%	105.72	95.83%

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica 7: Curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia en las unidades muestrales del BSS en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.** Donde, se representa con una línea continua la riqueza de especies observadas, y con una línea discontinua la extrapolación de las especies esperadas al aumentar el esfuerzo. El área sombreada alrededor de cada curva corresponde a los límites de confianza al 95%. Fuente: Elaboración propia.

## **B. Vegetación en pie**

Se extrapoló la riqueza asintótica para la vegetación en pie por categoría, estimándose en la categoría de regeneración de 0 a 5 años 278.26 especies, para la categoría de 6 a 10 años 306.63 especies, para la categoría de 11 a 20 años 187.33 especies y, para la categoría bosque sin perturbación aparente 192.3 especies, respectivamente (**Cuadro 9, pág. 57** y **Gráfica 8, pág. 57**).

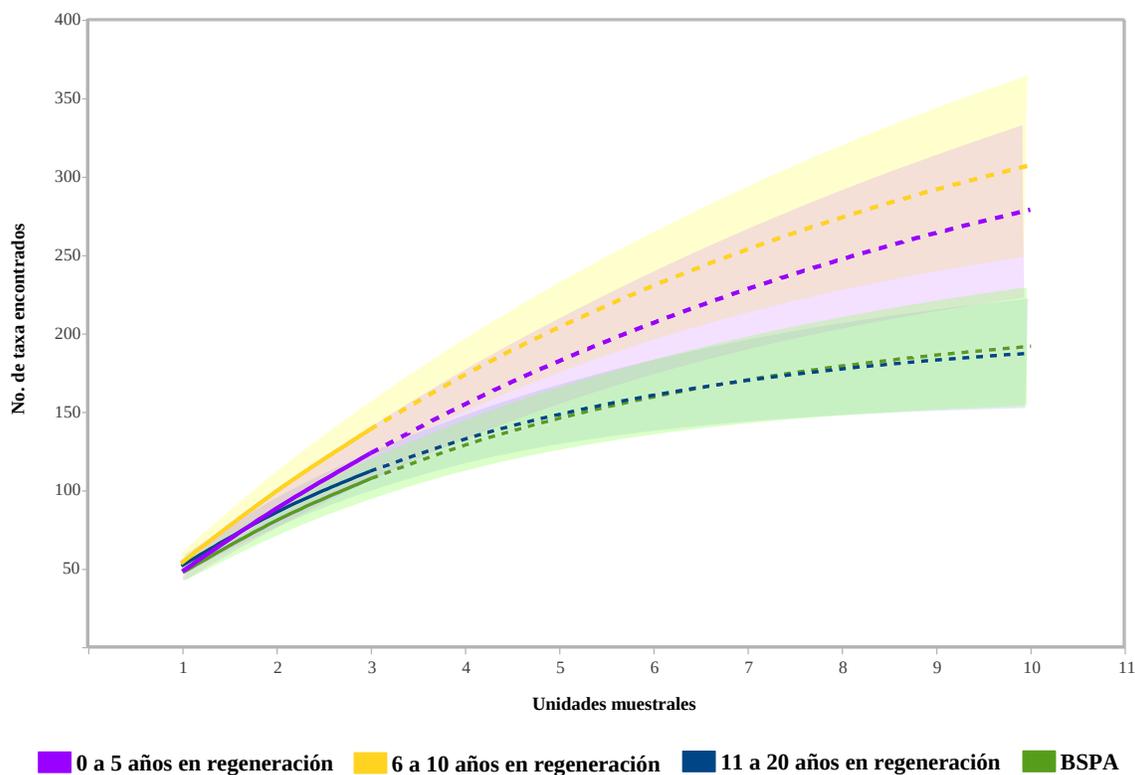
El esfuerzo realizado para la vegetación en pie por categoría de regeneración corresponde al 63 a 68% de especies esperadas según el estimador de riqueza de especies Jackknife de primer orden y con el índice estructural de la diversidad de CHAO 1 corresponde al 60 a 76% de las especies esperadas (**Cuadro 9, pág. 57**). Indicando que requiere un mayor esfuerzo para la detección de todas las especies estimadas para el área, como se observa con las curvas de rarefacción y extrapolación de las especies observadas y estimadas, las cuales no se aproximan a la asíntota (**Gráfica 8, pág. 57**).

La representatividad del esfuerzo de muestreo realizado para la vegetación en pie corresponde al 61% de las especies para el BPSMPZ a través del estimador de riqueza de especies Jackknife de primer orden y del 65% a través del índice estructural de la diversidad de CHAO 1. Para el BSS como para la vegetación en pie se estimó que la asíntota con el valor máximo de riqueza requería un esfuerzo de 10 unidades de muestreo (**Gráfica 9, pág. 58** y **Anexo D, pág. 110**).

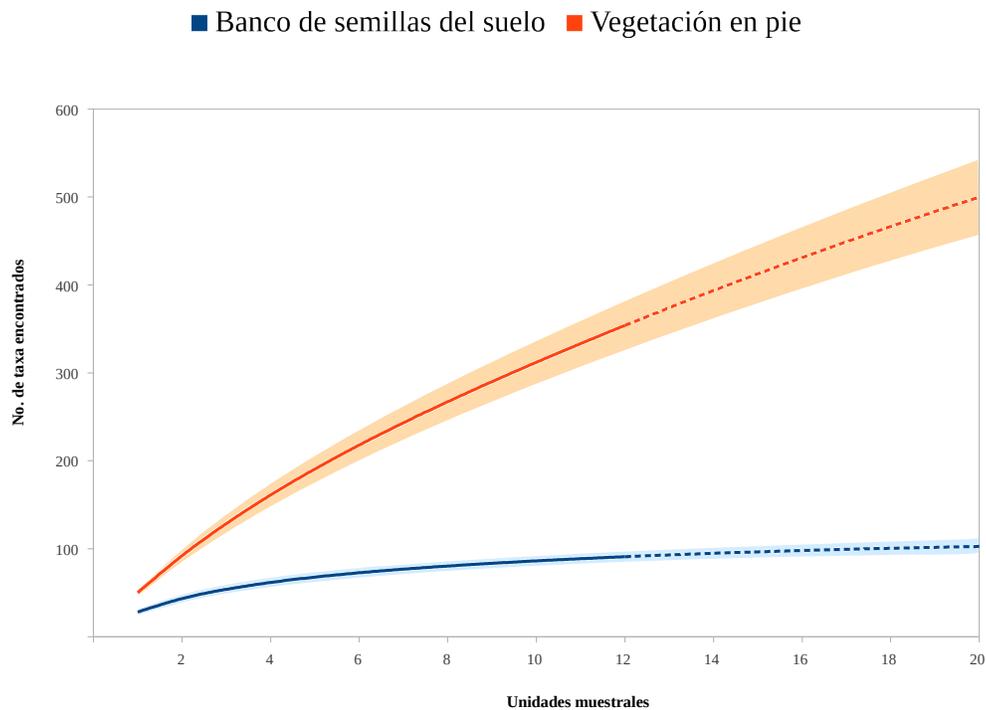
**Cuadro 9: Representatividad del esfuerzo de muestreo de la vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.**

	Número de germinantes observados	Número de especies esperadas			
		Estimador de riqueza de especies Jackknife de primer orden	Esfuerzo realizado	Índice estructural de la diversidad de CHAO 1	Esfuerzo realizado
<b>0 a 5 años en regeneración</b>	123	193.67	64%	187.27	66%
<b>6 a 10 años en regeneración</b>	138	217.33	63%	221.96	62%
<b>11 a 20 años en regeneración</b>	112	164.67	68%	146.51	76%
<b>Bosque sin perturbación aparente</b>	108	161.33	67%	181.43	60%
<b>BPSMPZ</b>	<b>354</b>	<b>581.33</b>	<b>61%</b>	<b>540.98</b>	<b>65%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015



**Gráfica 8: Curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia en las unidades muestrales de la vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.** Donde, se representa con una línea continua la riqueza de especies observadas, y con una línea discontinua la extrapolación de las especies esperadas al aumentar el esfuerzo. El área sombreada alrededor de cada curva corresponde a los límites de confianza al 95%. Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica 9: Curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia en las unidades muestrales del BSS y de la vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.** Donde, se representa con una línea continua la riqueza de especies observadas, y con una línea discontinua la extrapolación de las especies esperadas al aumentar el esfuerzo. El área sombreada alrededor de cada curva corresponde a los límites de confianza al 95%. Fuente: Elaboración propia.

## ii. Composición de la vegetación en pie

Por categoría de regeneración se observó que en las primeras categorías de regeneración las especies vegetales en pie más abundantes corresponden a los estratos herbáceos, y conforme aumentan los años en regeneración se observa la integración y aumento de la abundancia de las especies vegetales pertenecientes a los estratos arbustivo, subarbustivo y arboreo (Cuadro 10, pág. 59).

Cuadro 10: Caracterización de la vegetación en pie más abundante de un bosque alto del BPSMPZ.

Rango	0 a 5 años en regeneración		6 a 10 años en regeneración		11 a 20 años en regeneración		BSPA		BPSMPZ	
	Especie		Especie		Especie		Especie		Especie	
1	Msp. 534 (H)	10.1	Msp.468 (H)	5.6	Escobo (H y SA)	5.8	Msp406 (H)	30	Msp406 (H)	10.8
2	Huele de noche ( <i>Aegiphila</i> sp.; A y SA)	5.5	Yaxnic ( <i>Vitex gaumeri</i> ; A, Ar y SA)	4.3	Msp.019 (H)	5.8	Tzol ( <i>Blomia prisca</i> ; A, H y SA)	8.8	Escobo (A, H y SA)	4.5
3	Msp.034 (H)	4.5	Escobo ( <i>Crysophila stauracantha</i> ; A, Ar y SA)	3.1	Jobo (A, Ar y H)	5.1	Ramón ( <i>Brosimum alicastrum</i> ; A, Ar y H)	6.8	Tzol (A, H y SA)	3.4
4	Msp.548 (H)	3.5	Jobo ( <i>Spondias mombin</i> ; Ar, H y SA)	3.1	Chechén negro ( <i>Metopium brownei</i> ; A, Ar y SA)	4.9	Escobo (A, H y SA)	6.7	Ramón (A, Ar y H)	2.7
5	Msp.538 (H)	3.1	Msp.185 ( <i>Desmoncus</i> sp.; H)	2.8	Msp.610 (H)	4.7	Msp420 (Araceae; H)	4.5	Jobo (A, Ar y H)	2.2
6	Son ( <i>Alseis yucatanensis</i> ; A y SA)	2.8	Cuero de sapo ( <i>Ateleia / Pleuranthodendron</i> ; Ar)	2.6	Yaxnic (A)	4.6	Zapotillo hoja fina ( <i>Pouteria reticulata</i> ; A, Ar, H y SA)	3.5	Msp.534 (H)	2.2
7	Guarumo ( <i>Cecropia</i> sp.; A, Ar, H y SA)	2.8	Msp.460 (H)	2.6	Chacaj ( <i>Bursera simarua</i> ; A y Ar)	4.3	Zapotillo ( <i>Pouteria</i> spp.; A, Ar y H)	3.1	Yaxnic (A, Ar y SA)	1.9
8	Chichipín ( <i>Hamelia patens</i> ; H y SA)	2.8	Msp.584 (H)	2.6	Msp.214 (H)	4.1	Cordoncillo ( <i>Piper</i> sp.; A, H y SA)	2.7	Msp420 (Araceae; H)	1.7
9	Msp.527 (H)	2.8	Corozo ( <i>Orbignya cohune</i> ; A)	2.5	Msp.076 (H)	3.6	Xate (Araceae; H y SA)	2.2	Msp.468 (H)	1.6
10	Msp.523 (H)	2.5	Piper hoja ancha ( <i>Piper</i> sp.; H y SA)	2.3	Ixcanal ( <i>Acacia</i> sp.; H y SA)	2.8	Chicozapote ( <i>Manilkara zapota</i> ; A y Ar)	1.8	Msp.076 (H)	1.5

Fuente: Elaboración propia. Msp. = morfoespecie. Donde, las especies se encuentran en orden decreciente según su abundancia por tratamiento, la columna sombreada indica la proporción en la que se encuentra cada especie y entre paréntesis se indica el estrato y hábito en el que se encontró de la siguiente manera: arbóreo (A); arbustivo (Ar); herbáceo (H) y subarbustivo (SA). Abundancias del banco de semillas (Ver Anexo C, pág. 102).

La vegetación en pie, al igual que el BSS, mostró en la categoría de 6 a 10 años una mayor riqueza, en comparación con el resto de categoría. Donde las tres especies más abundantes reportadas son Msp.468, yaxnic (*Vitex gaumeri*) y escobo (*Crysophila stauracantha*), las cuales representan el 13% de la abundancia total. La categoría con menor homogeneidad, al

igual que el BSS, corresponde al BSPA donde las tres especies más abundantes: Msp.406, Tzol (*Blomia prisca*) y Ramón(*Brosimum alicastrum*) representan el 45.6% de la abundancia total, en donde Msp.406 contribuye con el 30% de éste (**Cuadro 6, pág. 49 y Gráfica 3, pág. 50**).

### **iii. Comparación entre la abundancia del BSS y la abundancia de la vegetación en pie**

De acuerdo a su abundancia relativa se exploró la composición de las especies registradas para el BSS y la vegetación en pie, registrando arriba del 95% de las especies como especies raras (frecuencia relativa menor a 0.10) en todas las categorías de regeneración, mientras que los porcentajes para especies moderadas (frecuencia relativa de 0.10 a 0.25) y especies comunes (frecuencia relativa mayor a 0.25) en varias categorías no superaron más del 4.35% y en muchos casos fue del 0%.

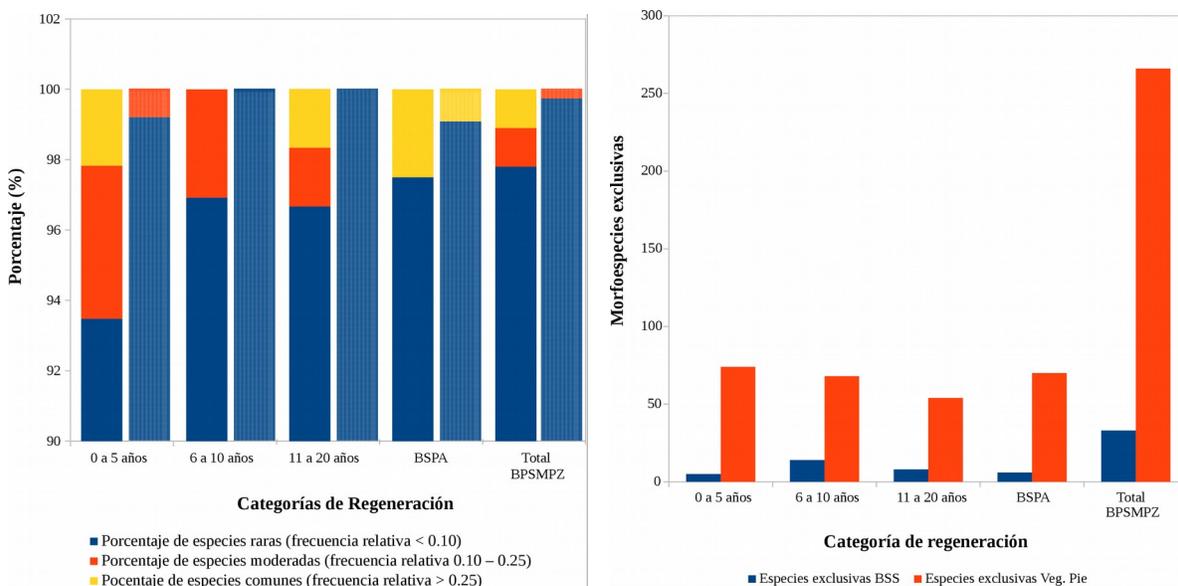
De las especies registradas 23 del BSS y 6 de la vegetación en pie se encontraron en todas las categorías de regeneración (**Cuadro 2, pág. 43 y Cuadro 3, pág. 44**). Además, en el BSS se cuantificaron un total de 33 especies exclusivas entre las categorías de regeneración y para la vegetación en pie 266 especies en total. Para el BSS la categoría 6 a 10 años en regeneración fue la que contó con el mayor número de especies exclusivas, mientras que la de 0 a 5 años fue la de menor número con 14 y 5 especies, respectivamente.

En la vegetación en pie, fue la categoría de 0 a 5 años la que contó con un mayor número de especies exclusivas, mientras que la categoría de 11 a 20 años la de menor número de especies exclusivas, respectivamente, como se muestra en el **Cuadro 11, pág. 61 y Gráfica 10, pág. 61**.

**Cuadro 11: Frecuencias relativas y especies exclusivas del BSS y vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.**

	0 a 5 años en regeneración	6 a 10 años en regeneración	11 a 20 años en regeneración	Bosque Sin Perturbación Aparente	Total BPSMPZ
<b>Banco de semillas del suelo</b>					
Porcentaje de especies raras (frecuencia relativa < 0.10)	93.48	96.92	96.67	97.5	<b>97.8</b>
Porcentaje de especies moderadas (frecuencia relativa 0.10 – 0.25)	4.35	3.08	1.67	0	<b>1.1</b>
Porcentaje de especies comunes (frecuencia relativa > 0.25)	2.17	0	1.67	2.5	<b>1.1</b>
<b>Especies exclusivas</b>	<b>5</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>33</b>
<b>Vegetación en pie</b>					
Porcentaje de especies raras (frecuencia relativa < 0.10)	99.19	100	100	99.07	<b>99.72</b>
Porcentaje de especies moderadas (frecuencia relativa 0.10 – 0.25)	0.81	0	0	0	<b>0.28</b>
Porcentaje de especies comunes (frecuencia relativa > 0.25)	0	0	0	0.93	<b>0</b>
<b>Especies exclusivas</b>	<b>74</b>	<b>68</b>	<b>54</b>	<b>70</b>	<b>266</b>

Fuente: Elaboración propia.

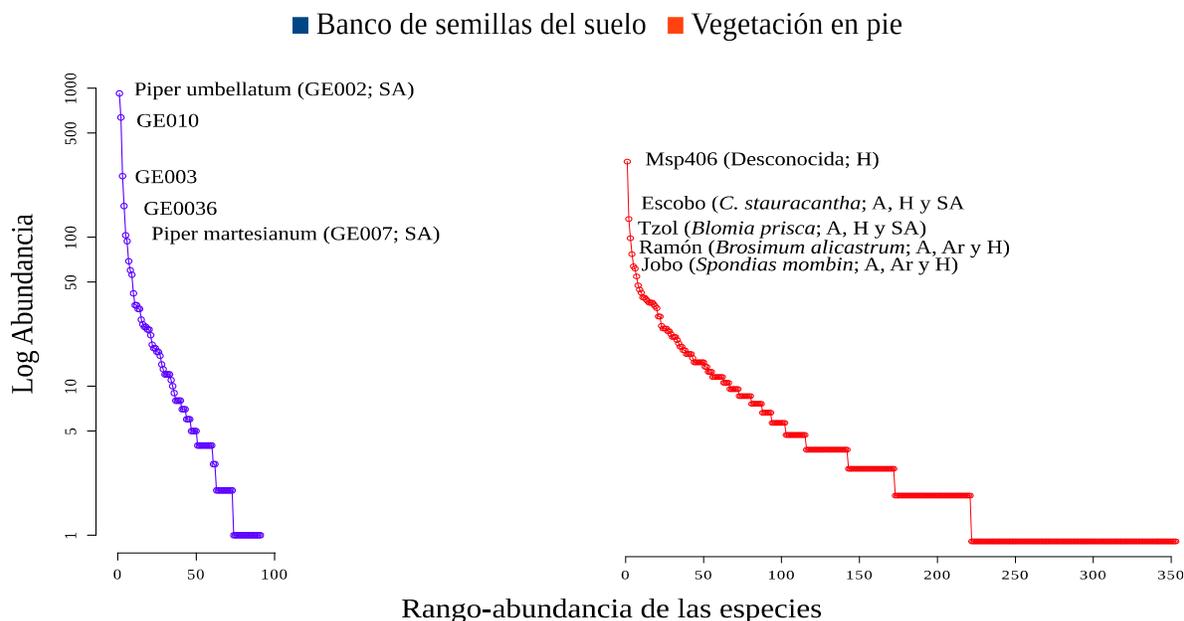


**Gráfica 10: Frecuencias relativas (izq.) y especies exclusivas (der.) del BSS y vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ.** Donde, las frecuencias relativas de las especies encontradas se presentan agrupadas por categorías de regeneración para el BSS (sup.) y vegetación en pie (inf., subrayado). Fuente: Elaboración propia.

#### **iv. Comparación entre la diversidad del BSS y la diversidad de la vegetación en pie**

Para explorar el patrón de diversidad en todo el BPSMPZ, para el BSS y la vegetación en pie se generaron las respectivas curvas de rango-abundancia (**Gráfica 11, pág. 63**). De acuerdo a las curvas generadas, se observó a partir del ancho del eje horizontal que la vegetación en pie presenta una mayor riqueza en comparación con el BSS, debido a que presenta una curva más amplia.

Como una aproximación de la uniformidad del ensamble de especies, se observa a partir de la forma de la curva de rango-abundancia que la vegetación en pie posee una curva poco pronunciada, indicando que el ensamble tiene una mayor diversidad y que la abundancia de las especies es más homogénea, donde las primeras tres especies constituidas por morfoespecie 406 (Msp406), Escobo y Tzol representaron el 18.8% de la abundancia total. En cambio el BSS presenta una curva muy pronunciada, indicando que las especies se distribuyen menos uniformemente, debido a la presencia de especies de gran abundancia y baja equitatividad, donde las tres primeras especies conformadas por *Piper umbellatum*, los germinantes 010 y 003 (GE010 y GE003, respectivamente) representan el 58.6% de la abundancia total (**Cuadro 5, pág. 47 y Cuadro 10, pág. 59**).



**Gráfica 11: Curva de rango-abundancia de especies del BSS y vegetación en pie de un bosque alto del BPSMPZ.** Donde, en el eje horizontal se representan los rangos asignados a cada especie y en el eje vertical se representa la abundancia (logaritmo natural). Así mismo se identifica el nombre de las especies que ocupan los primeros cinco lugares. Fuente: Elaboración propia.

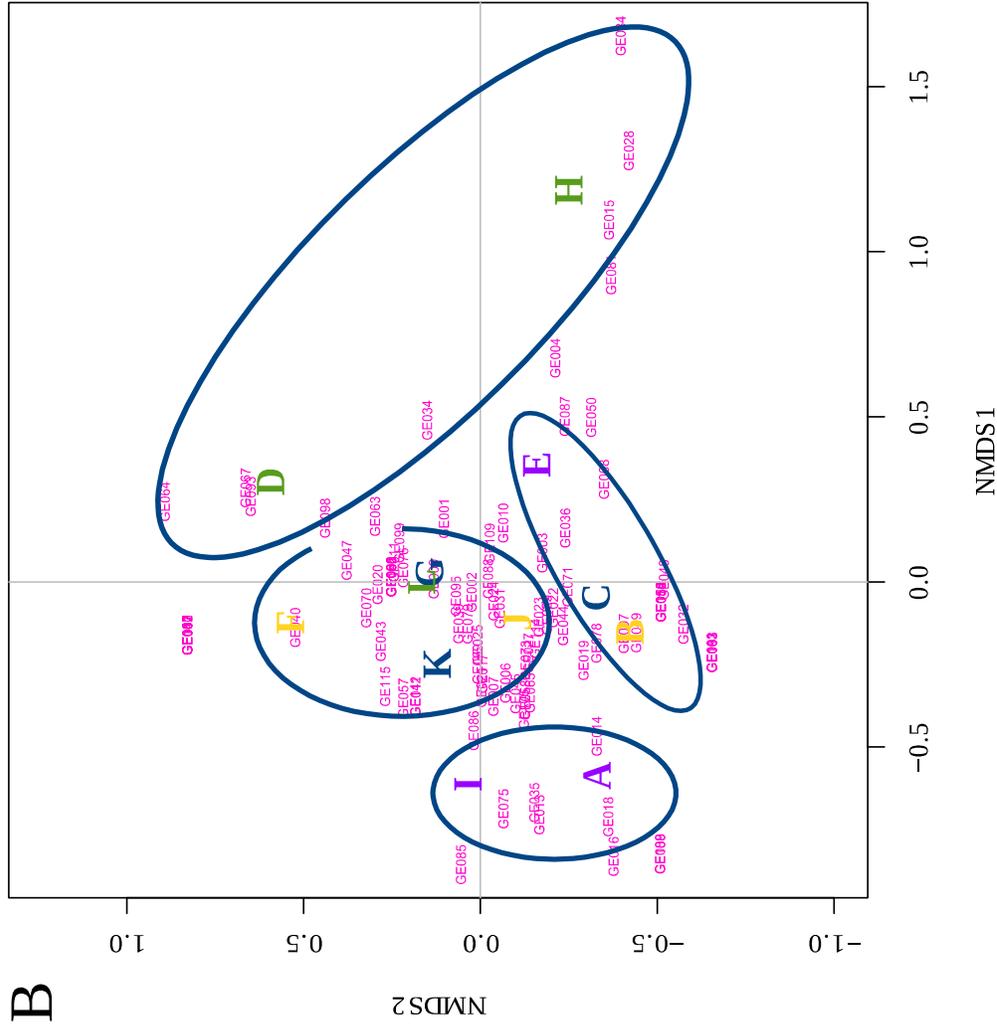
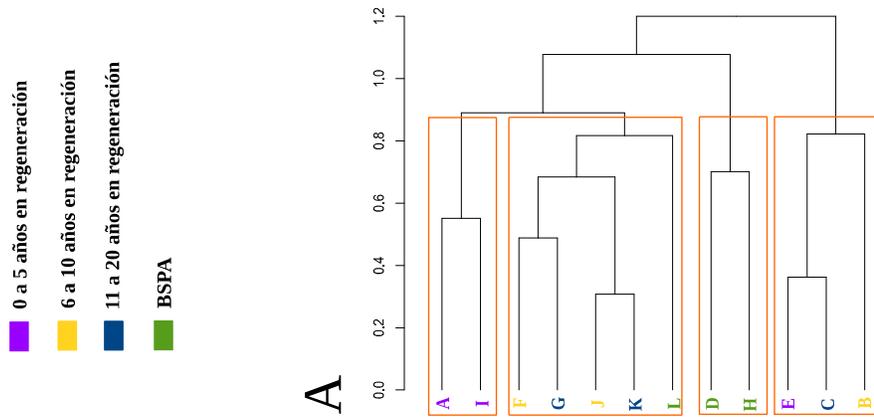
## v. Análisis de clasificación de los sitios de estudio

En base al análisis de clasificación jerárquica de la vegetación en pie se pueden reconocer tres agrupamientos (CC: 0.8047): el primero conformado por los sitios de estudio D, H y L, donde todos coinciden con el tratamiento establecido como bosque sin perturbación aparente (BSPA); el segundo se conforma por 4 sitios, donde G, K y C, coinciden con el tratamiento de 11 a 20 años en regeneración, y con mayor similitud a los sitios G y K, se encuentra el sitio J (7 años en regeneración) correspondiente a la categoría de 6 a 10 años; y finalmente el tercero se encuentra conformado por sitios que pertenecen a las categorías propuestas de 0 a 5 años y de 6 a 10 años en regeneración. Donde el subgrupo compuesto por los sitios E-B, al igual que el subgrupo I-F-A comparten una elevada similitud (**Cuadro 1, pág. 41**).

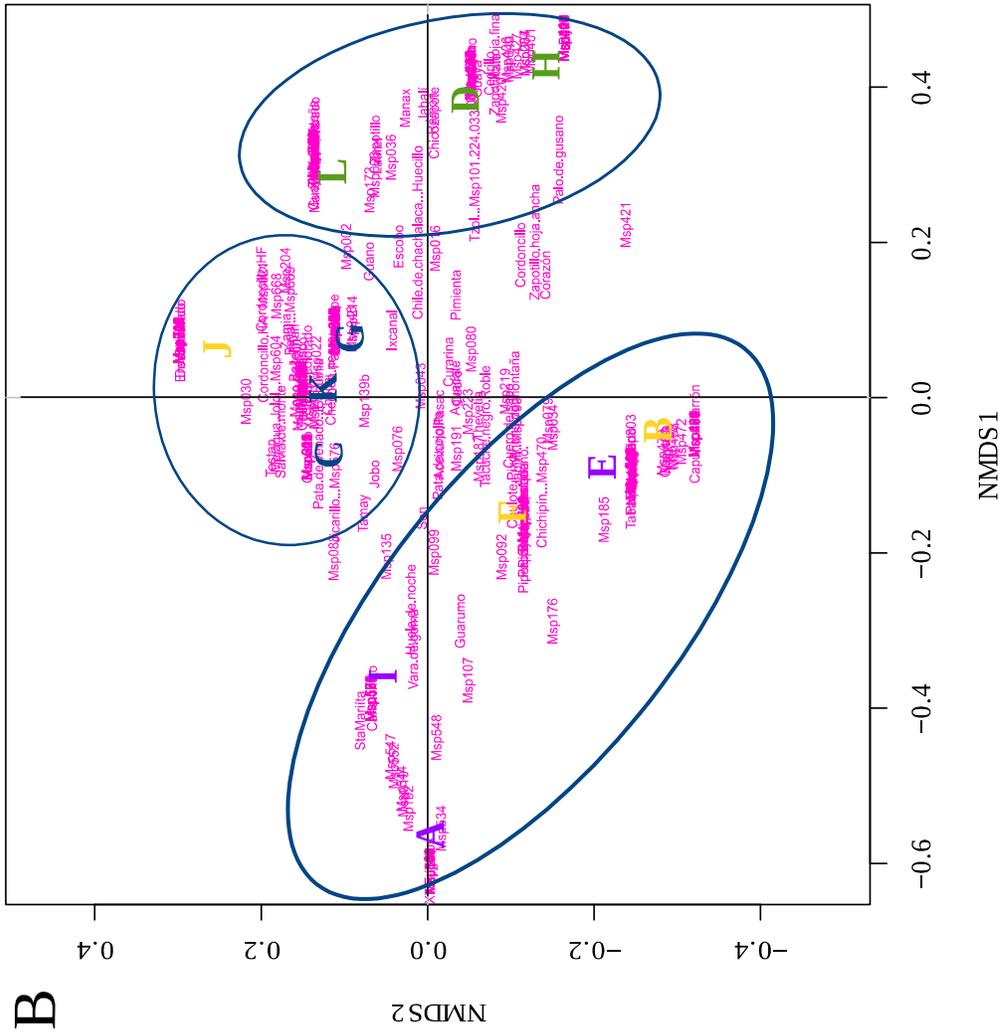
El resultado del análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) (tensión = 0.12 y  $R^2 = 0.986$ ). Se visualiza conformación de los grupos anteriores, haciéndose evidente la influencia de las especies en estos agrupamientos (**Gráfica 12, pág. 65**). Sin embargo, como se indicó anteriormente, no es posible diferenciar de manera clara el tratamiento de 6 a 10 años de los tratamientos de 0 a 5 años y de 11 a 20 años.

Al explorar la unidad de los tratamientos propuestos en base a la composición y abundancia del BSS se reconocen en base al análisis de clasificación jerárquica (CC: 0.7862): el agrupamiento conformado por los sitios A-I y D-H, que corresponden a las categorías propuestas en base a la vegetación en pie de 0 a 5 años en regeneración y de Bosque sin perturbación aparente, respectivamente. Los agrupamientos restantes se conforman de sitios de tres de las categorías de regeneración propuestas (**Gráfica 13, pág. 66**).

Del mismo modo a través del NMDS (tensión= 0.14 y  $R^2 = 0.981$ ) se observa el mismo comportamiento en donde los sitios de estudio tienden a no agruparse en los tratamientos propuestos en base a la abundancia del BSS.



**Gráfica 12: Similitud entre los sitios de muestreo de cada categoría de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ en base a la composición y abundancia de la vegetación en pie.** A. Análisis agrupamiento jerárquico para los sitios de muestreo de cada categoría de regeneración establecida. Correlación cofenética: 0.8047. B. Análisis de escalonamiento multidimensional no métrico (NMDS) a partir de la matriz de similitud de Bray-Curtis (tensión = 0.12 y  $R^2= 0.986$ ) Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica 13: Similitud entre los sitios de muestreo de cada categoría de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ en base a la composición y abundancia del banco de semillas del suelo.** A. Análisis agrupamiento jerárquico para los sitios de muestreo de cada categoría de regeneración establecida. Correlación cofenética: 0.7862. B. Análisis de escalonamiento multidimensional no métrico (NMDS) a partir de la matriz de similitud de Bray-Curtis (tensión = 0.14 y R<sup>2</sup>= 0.981) Fuente: Elaboración propia.

## VIII. DISCUSIÓN

En el presente estudio se caracterizó la riqueza y abundancia de especies provenientes de cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del BPSMPZ en el que se registraron 91 especies y 3,099 germinantes (**Cuadro 2, pág. 43, Cuadro 8, pág. 55 y Anexo B, pág. 99**). En otros bosques tropicales se ha reportado cantidades similares, por ejemplo Maza-Villalobos et al. (2010) para Jalisco, México reportan 102 especies y (Quintana-Ascencio, González-Espinosa, Ramírez-Marcial, Domínguez-Vázquez, & Martínez-Ico, 1996, p. 195) 130 especies en Chiapas, México. Aunque también hay estudios donde se ha registrado una menor cantidad de especies, 26 en Costa Rica (Butler & Chazdon, 1998, p. 217), 38 en Panamá (Dalling & Hubbell, 2002), y 52 en Chiapas, México (López-Toledo & Martínez-Ramos, 2011) por lo que en este estudio no se presentaron valores atípicos, comparado con estudios realizados en otros bosques tropicales.

En la RBM también se han reportado BSS con 79 especies y abundancia de 374 semillas en 0.82 m<sup>2</sup> (García et al., 2015b, p. 57) y al noreste, en el Biotopo Protegido Naachtún Dos Lagunas 69 especies y abundancia total de 221 semillas en 1.36 m<sup>2</sup> (Ramírez, 2015, p. 28). Estos valores difieren de los obtenidos en este estudio, sin embargo se debe tener en cuenta que utilizaron pocos núcleos de suelo y la metodología de búsqueda directa, con detección mínima de semillas de 2 mm (García et al., 2015a, p. 12; Ramírez, 2015, pp. 22–23), lo cual limita la detección de semillas menores a 2 mm o de difícil detección por su baja abundancia, tales como herbáceas y semillas pioneras (Butler & Chazdon, 1998, p. 215; Heerdt et al., 1996, p. 150).

De esta manera, se observa que las diferencias con estos estudios podrían deberse en gran medida a la metodología utilizada, las cuales requieren una gran inversión de tiempo para la búsqueda e identificación de las semillas y, en el caso de estudios a gran escala, existirán metodologías que son poco efectivas para la detección de semillas muy pequeñas (Heerdt

et al., 1996, p. 144).

En este estudio, con la metodología indirecta y el uso de un tamaño de muestra mayor a lo recomendado<sup>10</sup>, se logra superar éstas limitantes, como se corroboró al superar el 70% de las especies estimadas al analizarse bajo los tratamientos propuestos y el 79% de las especies esperadas al analizarse a nivel de todo el biotopo (**Cuadro 8, pág. 55, Gráfica 6, pág. 54 y Gráfica 7, pág. 55**). Por lo tanto, se evidencia la efectividad de la metodología aplicada para la detección del BSS del BPSMPZ basada en las recomendaciones realizadas por Butler & Chazdon (1998, p. 221) y Heerdt et al (1996, p. 150) en cuanto al uso de una gran cantidad de núcleos de suelo pequeños distribuidos sobre una gran superficie y la aplicación de la metodología de reconcentración de los núcleos previo a la fase de invernadero.

En todas las categorías de regeneración de BSS se encontró mayor abundancia de tres especies no arbóreas (GE002: *Piper umbellatum*<sup>11</sup>, GE010 y GE003) (**Cuadro 5, pág. 47 y Gráfica 11, pág. 63**). La poca dominancia y representatividad de especies arbóreas en las edades avanzadas en regeneración, como se ha documentado en bosque tropicales, se relaciona con el hecho de que estas especies por lo general fructifican y se dispersan durante la temporada lluviosa cuando la depredación y germinación de semillas ocurre, pues por lo general estas semillas se caracterizan por ser de tipo recalcitrante, razón por la cual, es poco probable que se incorporen al BSS (Garwood, 1989, p. 152; Maza-Villalobos et al., 2010, p. 43).

---

10 El tamaño de la muestra usado de 32 núcleos de suelo en 1,000 m<sup>2</sup> equivale a 320 núcleos de suelo en 1 Ha, es superior a los 40 a 75 núcleos por 1 Ha recomendados por Butler & Chazdon (1998, p. 220).

11 *Piper umbellatum* L. (GE002) es un subarbusto pionero característico de áreas en regeneración que produce semillas en amentos que son dispersados principalmente por aves y murciélagos (Baskin & Baskin, 2014, p. 433; Galindo-González, 1998, p. 70; Standley & Steyermark, 1952, p. 332).

Una de las probables razones por la que el género *Piper* es el más abundante y frecuente en todos los sitios, se debe a que sus semillas se dispersan por zoocoría, en especial a través de vectores como los murciélagos<sup>12</sup> (Bizerril & Raw, 1998, p. 113; Fleming, 2004, pp. 59, 74; Fleming, Heithaus, & Sawyer, 1977, pp. 623, 626; Van Der Pijl, 1957, p. 298). Se ha reportado que parte de las semillas dispersadas por animales además de contribuir de forma importante al mantenimiento de la diversidad vegetal en áreas perturbadas y al funcionamiento del paisaje, también juegan un rol especial en cuanto a la estructuración, diversidad y complejidad de los BSS, pues promueven el flujo de semillas entre áreas cercanas y lejanas, manteniendo la riqueza del BSS (Wandrag, Dunham, Miller, & Rogers, 2015, p. 1,8).

Las especies más abundantes del BSS por categoría de regeneración no evidenciaron el aumento de la complejidad estructural y funcional que adquirió la vegetación en pie (**Cuadro 5, pág. 47, Cuadro 10, pág. 59 y Gráfica 11, pág. 63**). Este aumento de complejidad en la vegetación en pie conlleva a una mayor cantidad de especies tolerantes a la sombra con semillas recalcitrantes que no se incorporarán al BSS (Kitajima, 2007, pp. 559–560). Reflejo de esto es que la composición más abundante del BSS estuvo conformada por especies herbáceas y subarborescentes que por lo general presentan semillas con dormancia facultativa (Garwood, 1989, p. 152).

La densidad de semillas y de especies del BSS cambian de acuerdo a la edad de la regeneración, siendo mayor en edades recientes y menor en edades avanzadas, en especial, en los bosques sin perturbación aparente (**Cuadro 3, pág. 44 y Gráfica 1, pág. 45**), tal como lo reportan Bazzaz (1975, pp. 487–488), Garwood (1989, p. 182), Bekker et al (2000, p. 604), Perera (2005, p. 73), Maza-Villalobos et al (2010, p. 44).

---

12 Durante el estudio de García *et al* (2015a, p. 34) y en el presente se encontraron comederos de murciélagos dentro del biotopo, los cuales tenían gran variedad de semillas, entre ellas del género *Piper* y de especies tanto de áreas de regeneración como de bosque sin perturbación aparente.

Uno de los factores que puede influenciar este patrón de densidad, se relaciona con la hipótesis de la perturbación intermedia de Connell<sup>13</sup>. Donde, los bosques en regeneración se caracterizan por poseer una mezcla de especies dominantes en edades recientes de regeneración, en especial pioneras, con especies que son dominantes en edades avanzadas de regeneración. En donde influirá el hecho que los bosques sin perturbación aparente tienen por lo general BSS pequeños debido a que las especies tolerantes a la sombra que producen semillas en poca cantidad no se incorporan al BSS (Alvarez-Aquino et al., 2005, p. 341; Bedoya-Patiño et al., 2010, p. 80; Garwood, 1989, p. 151; Maza-Villalobos et al., 2010, p. 44).

Por tanto se hace evidente la influencia de agentes externos a la vegetación en pie del sitio para la incorporación de semillas al BSS, como el uso del suelo previo al abandono y a las características ambientales prevalecientes, la matriz de vegetación circundante (fuente de propágulos) y a la complejidad del mosaico regional (Howorth & Colonnello, 2004, p. 160; Lemus-Herrera, 2008, p. 31; Quintana-Ascencio et al., 1996, p. 200).

De acuerdo con estudios previos en cronosecuencias o estadios sucesionales y en concordancia con la hipótesis del disturbio intermedio, en cuanto a los patrones de diversidad del BSS (**Cuadro 4, pág. 44 y Gráfica 2, pág. 46**), se observa que el área más diversa corresponde a la categoría en regeneración de 6 a 10 años ; y al mismo tiempo, que los sitios con la mayor diversidad se encuentran próximos a áreas con otros grados de perturbación que están cerca al límite del biotopo (Alvarez-Aquino et al., 2005, p. 341; Bazzaz, 1975, pp. 487–488; Connell, 1978, p. 1303; Lemus-Herrera, 2008, p. 41; Perera, 2005, p. 74). Cabe hacer mención, que la amplitud de los intervalos de confianza en los índices de diversidad evidencian que no fue posible controlar todas las variables que influyen en la diversidad además del tiempo en regeneración, por lo que esta variación

---

13 La hipótesis sobre perturbación intermedia de Connell, predice el mayor número de especies coexistiendo ante magnitudes intermedias de perturbación; debido a que ha pasado mayor tiempo en el cual se han integrado especies tanto de estados iniciales de regeneración como especies propias del área previo a la perturbación (Connell, 1978, p. 1303).

puede ser causada por factores como el relieve, el tipo de suelo y la matriz circundante.

Por lo anterior, se debe de considerar la importancia del rol que cumple BPSMPZ dentro de la RBM pues no sólo representa un área con vegetación núcleo del área que aún provee bienes y servicios ecosistémicos, sino que además se le debe de considerar como un área importante como fuente de propágulos para regenerar áreas degradadas circundantes. Pues debido a procesos como la lluvia de semillas y la dispersión secundaria de los BSS intactos de los BSPA, se logra la recuperación de los BSS de sitios degradados, contribuyendo a la diversidad y estructura de la vegetación en pie y en especial, del BSS (Olano, Caballero, & Escudero, 2012, p. 305).

En cuanto a la vegetación en pie, se observó que a nivel de biotopo la composición registrada (354 especies, **Cuadro 9, pág. 57 y Anexo C, pág. 102**) es ligeramente superior a lo reportado en otros estudios realizados en el biotopo (García et al., 2015a, 261 especies; Ixcot, 2005, p. 33, 129 especies). Al compararse a nivel de toda la RBM se observa una riqueza similar de acuerdo a otros estudios (Bámaca, 2000, p. 36, 166 especies; García et al., 2015b, p. 56, 519 especies; Sandoval, 1999, p. 29, 135 especies), considerando que únicamente contempla información del bosque alto y que aún se requiere un mayor esfuerzo de muestreo para registrar toda la diversidad florística de la RBM (**Gráfica 8, pág. 57 y Gráfica 9, pág. 58**).

Las especies más abundantes de la vegetación en pie concuerdan en composición con el marco conceptual sobre la regeneración natural para la RBM propuesto por García *et al* (2015b, p. 58) y con la caracterización de la vegetación de bosque de planada (equivalente al BSPA) y a la vegetación de guamil (equivalente a las categorías de regeneración de 0 a 5 años y 5 a 10 años) por Ixcot (2005, pp. 36–37) (**Cuadro 10, pág. 59**). Donde se reconocen distintas etapas que conllevan a un reemplazo de especies iniciando con la colonización de vegetación herbácea hasta leñosas de vida corta, para luego ser reemplazadas por árboles

pioneros de vida larga, y finalmente la transición a una comunidad de bosque maduro (Howorth & Colonnello, 2004, p. 160).

Al no encontrar evidencia de una correlación entre la riqueza del BSS y la riqueza de la vegetación en pie ( $r=0.31$  y  $P=0.3321$ ) y de ninguna tendencia asociada entre la riqueza del BSS con la pendiente, altura de hojarasca, textura, porosidad, pH y cobertura vegetal, es probable que existan otros factores que pueden estar influyendo en el BSS, como la cobertura de bosque alrededor de los sitios (matriz), vectores de dispersión, especies remanentes y las condiciones ambientales al momento de abandono o cese de la perturbación (Bengtsson et al., 2003, pp. 390–391; Botzat, Fischer, & Farwig, 2015, pp. 11–12; Maza-Villalobos, 2012, p. 26; Maza-Villalobos, Balvanera, & Martínez-Ramos, 2011, p. 672). Hay que destacar que la composición del BSS depende tanto de la vegetación presente, pero también de la anterior (Marone, Cueto, Milesi, & Casenave, 2004, p. 1816).

En este estudio, se observó que el BSPA, en riqueza y abundancia, presentó una menor relación entre la vegetación en pie con el BSS en comparación con las otras categorías de regeneración y en donde evidencia una mayor relación entre el BSS y la vegetación en pie de las categorías intermedias (**Gráfica 3, pág. 50 y Gráfica 4, pág. 51**). En este sentido, se ha reportado que generalmente la relación entre la vegetación en pie con el BSS es baja antes de la perturbación, pero si esta se extiende y se vuelve permanente, incrementará debido al establecimiento de especies de sucesión temprana que poseen estrategias de dispersión de semillas dirigidos a una producción voluminosa de éstas y gran capacidad de latencia e integración al BSS sin importar los cambios que se den en la vegetación (Bekker et al., 2000, p. 64; Ingersoll & Wilson, 1993, p. 716; Korb, Springer, Powers, & Moore, 2005, p. 103; Ortiz-Arrona, 1992, p. 60; Quintana-Ascencio et al., 1996, p. 200; Saatkamp et al., 2013, p. 277; Thompson, 1986, p. 736).

Si bien no existe una correlación entre la riqueza en la vegetación en pie y el BSS, se logra observar una ligera tendencia en cuanto a los picos de máxima riqueza como se indicó anteriormente (**Gráfica 5, pág. 52**). Sin embargo, sobresale que los valores para el BSS en comparación con la vegetación en pie fueron mucho menores. Esto se debe a que no todas las semillas tienen la capacidad de integrarse al BSS y permanecer viables por mucho tiempo, como se mencionó anteriormente (Li, Liu, & Tang, 2010, p. 1178).

La falta de correlación entre el BSS y la vegetación en pie en cuanto a riqueza y composición puede deberse principalmente a que el BSS tiende a ser similar en cuanto a especies dominantes a lo largo de las categorías de generación en comparación con la diversidad y complejidad que exhibió la vegetación en pie, lo cual se ve reflejado en los análisis de agrupamiento realizados (**Cuadro 5, pág. 47, Cuadro 10, pág. 59, Gráfica 12, pág. 65 y Gráfica 13, pág. 66**). Donde, un factor que contribuye a este fenómeno puede estar relacionado con los vectores de dispersión, en el caso del BPSMPZ con los murciélagos que permitan la dispersión de semillas desde fuera de los sitios.

Ésto se debe a que el BPSMPZ es un importante refugio<sup>14</sup> para los murciélagos en el que existen ensambles específicos que desarrollan sus actividades, como el forrajeo, y que en vuelo dispersan semillas de varias especies vegetales, facilitando y promoviendo el flujo de semillas entre áreas en regeneración y bosques sin perturbación (Comité Científico del Simposio de Biodiversidad, 2010, p. 21). Ésto le confiere al área una complejidad estructural que puede estar influyendo de forma positiva en la diversidad del área tanto para el BSS como para la vegetación en pie. Al no existir para los murciélagos barreras ambientales o antropogénicas que impidan su movimiento, el flujo de semillas no se interrumpe pues éstos hacen uso de todo el paisaje, por lo que el BSS incorporará una gran cantidad de semillas provenientes de estos dispersores, sin importar la vegetación en pie (Charles-Dominique, 1986, p. 125; 131-132; Estrada-Villegas, Pérez-Torres, & Stevenson,

<sup>14</sup> En el área núcleo del Biotopo se encuentra un gran peñón que funciona como dormitorio de muchos murciélagos, sin importar el ensamble al que pertenezcan (Laporte, 2006, p. 955; Veras, 2009, pp. 40–41).

2007, p. 12; Fleming, 1988, p. 301; Gorchoy, Cornejo, Ascorra, & Jaramillo, 1993, p. 347; Lou & Yurrita, 2007, p. 30; Medellín & Gaona, 1999, p. 481; 486; Whittaker & Jones, 1994, p. 256).

En este estudio se corrobora que existe incorporación y permanencia de semillas en el suelo en cada una de las categorías de regeneración; aunque en su mayoría se trata de especies no arbóreas, las especies encontradas representan un reservorio con variabilidad genética que tienen la capacidad de germinar y desarrollarse, y de ser capaces de reemplazar a las existentes ante condiciones que cambian el estado de la vegetación (Bedoya-Patiño et al., 2010, p. 77; De Souza et al., 2006, p. 34).

Cabe resaltar que en comparación el BSS incluyó, en riqueza, el 26% de las especies de la vegetación en pie registrada, en un área que representa el 0.01% del área en el que se estudió la vegetación en pie. Así mismo, al comparar la abundancia, el BSS contó con el 108% de individuos en el área, revelando con ello la importancia del BSS en la regeneración natural por la cantidad y diversidad de especies que se encuentran presentes por área.

Además, se complementa el conocimiento sobre los procesos involucrados en la regeneración natural de la RBM, en especial sobre la existencia de conjuntos de especies característicos de cada categoría de regeneración, donde un 36% de las especies registradas en el BSS y un 75% de la vegetación en pie son exclusivas para alguna de las categorías de regeneración (**Gráfica 10, pág. 61**). Sin embargo, como menciona Lemus-Herrera (2008, p. 35) la determinación taxonómica es uno de los problemas en el estudio de los BSS, lo cual se evidencia en que solo el 18% de las especies registradas se lograron identificar al menos a nivel de familia.

En el estudio también se evidencia que 25% de las especies encontradas en el BSS se encuentran presentes en todas las categorías de regeneración, donde tres de éstas se registraron en todos los sitios de estudio<sup>15</sup>, desconociendo si su presencia se deba a la ocurrencia de plantas reproductivas en el mismo sitio o a la acción de vectores de dispersión. La incorporación de alguna de estas especies en estrategias de manejo o restauración ecológica se ve limitada por la falta de conocimiento sobre la identidad taxonómica, la tasa de incorporación, de recambio y la función ecológica, por lo que no se puede determinar si estas especies constituyen un inhibidor o facilitador de la restauración, rehabilitación y/o regeneración del ecosistema.

De igual manera, en este estudio se determinó que un 2% de la vegetación en pie<sup>16</sup> tiene un amplio ámbito de tolerancia ecológica pues son capaces de desarrollarse en todos los ambientes presentes a lo largo de las categorías de regeneración (Lemus-Herrera, 2008, p. 49). Sin embargo, se desconoce si son especies facilitadoras o inhibidoras de la regeneración natural o del crecimiento de especies clave.

---

15 Las especies encontradas en todos los sitios de estudio corresponden a GE001 (Asteraceae), *Piper umbellatum* (GE002; Piperaceae) y GE010 (indeterminada taxonómicamente) (**Cuadro 12, pág. 99**).

16 Se registraron 6 especies presentes en todas las categorías de regeneración: Ixcanal, Escobo, Jabín, Jobo, Curarina y Msp076 (**ver Cuadro 13, pág. 102**).

## IX. CONCLUSIONES

En el banco de semillas del suelo (BSS) del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada El Zotz se registró un total de 91 morfoespecies de semillas germinantes, con una densidad de 3,523.81 semillas por m<sup>2</sup>, un índice de equidad de Shannon - Wiener de 2.77 y un índice de dominancia de Simpson de 0.15.

Los tratamientos del BSS de 0 a 5 años, de 6 a 10 y de 11 a 20 años en regeneración y de BSPA presentaron una riqueza de 46, 65, 60 y 40 especies, una densidad de 3,625.01, 3,420.34, 3,893.37 y 3,156.54 semillas por m<sup>2</sup>, un índice de equidad de Shannon - Wiener de 2.27, 3.06, 2.63 y 1.42, y un índice de dominancia de Simpson de 0.19, 0.09, 0.17 y 0.53, respectivamente.

En todas las categorías de regeneración del BSS se encontró diferencia estadística en cuanto a la densidad de especies (especies por 0.22m<sup>2</sup>) y la densidad de semillas (semillas/m<sup>2</sup>) ( $P \leq 0.05$ ). Presentándose los valores mayores de riqueza, densidad y diversidad en la categoría de 6 a 10 años en regeneración y 11 a 20 años, sugiriendo que las categorías de regeneración siguen el patrón de la hipótesis de la perturbación intermedia de Connell.

La vegetación en pie presentó un aumento de la complejidad estructural que se relaciona con el tiempo en regeneración, sin embargo no se encontró evidencia estadística que relacione la riqueza del BSS con la riqueza de la vegetación en pie ( $P = 0.3321$ ).

La caracterización del BSS del BPSMPZ corrobora la incorporación y permanencia de semillas en el suelo en cada una de las categorías de regeneración.

El BSS en comparación incluyó, en riqueza, el 26% de las especies de la vegetación en pie registrada, en un área que representa el 0.01% del área en el que se estudió la vegetación en pie.

El 33% de las especies del BSS son exclusivas de alguna de las categorías de regeneración y 25% están presentes en todas las categorías de regeneración (generalistas).

El uso de 33 unidades muestrales de suelo distribuidas sobre una superficie de 100 m<sup>2</sup> y el uso de técnicas de reconcentración previo a la fase de invernadero permitieron la detección del 79% al 95.83% de las especies esperadas para el BSS del BPSMPZ, según el estimador de riqueza de especies Jackknife de primer orden y del índice estructural de la diversidad de CHAO 1, respectivamente.

El uso de tres parcelas modificadas de Whittaker de 0.1 Ha por categoría de regeneración permitió la detección del 61% al 65% de las especies esperadas para la vegetación en pie del BPSMPZ, según el estimador de riqueza de especies Jackknife de primer orden y del índice estructural de la diversidad de CHAO 1, respectivamente.

## X. RECOMENDACIONES

Se recomienda al sector académico:

- Continuar con el enriquecimiento de las colecciones de referencia en los *Index seminum* y herbarios universitarios, así como la generación y recopilación de información referente a la morfología de las semillas; estadísticas y procesos de germinación.
- Enriquecer las colecciones botánicas de herbarios y de los *Index seminum* con muestras provenientes de la RBM y otras áreas protegidas a través de la ejecución de protocolos para la toma de datos de fenología y colecta de muestras botánicas, pues en gran medida representan los ecosistemas de referencia, a partir de los cuales se puede generar información para su uso en estrategias relacionadas con la conservación, restauración y manejo.
- Incentivar investigaciones sobre germinación y desarrollo de plántulas, en especial de especies de ecosistemas vulnerables a efectos antrópicos y a la variabilidad climática.
- Para futuros estudios sobre BSS, considerando que se alcanzó el 79% de la riqueza estimada y con la finalidad de hacer comparables los resultados, se recomienda continuar con el uso de la metodología empleada tanto para la colecta como para los procedimientos de invernadero, sugiriéndose ampliar al uso de 8 a 10 unidades de muestreo por tratamiento.

- En futuras investigaciones de BSS, durante la fase de invernadero reconcentrar las muestras de suelo a través de un tamiz fino  $< 2$  mm con la finalidad de reducir y optimizar el espacio en invernadero.
- Impulsar estudios que busquen caracterizar la dinámica de los BSS como tasas de incorporación, de recambio o distribución espacial, y la identificación taxonómica y/o funcional de las semillas con la finalidad de conocer el rumbo de la regeneración en el sitio.
- Se recomienda la medición de otro conjunto de variables (ej. matriz, vectores de dispersión y escorrentía), distintas a la profundidad de la hojarasca, pendiente, pH, porosidad, cobertura vegetal y textura, que puedan tener influencia en la composición y estructura del BSS.

A todas aquellas personas que tienen a su cargo el desarrollo de planes o estrategias de restauración o conservación en áreas protegidas o concesiones forestales, se recomienda:

- Considerar a los BSS como elementos clave en programas de restauración, rehabilitación y regeneración natural de cualquier ecosistema, por funcionar como memoria de la vegetación en pie, al mismo tiempo que mantienen la variabilidad genética de la vegetación del sitio ante perturbaciones naturales y antropogénicas.
- Desarrollar un marco conceptual sobre la dinámica del BSS y su rol en la regeneración natural, con la finalidad de establecer rutas de acción acorde a la resiliencia y especies que conformen el BSS, sobretodo identificando las especies clave.

- Considerar a los BSS importantes para el manejo de la vegetación, pues a través de la identificación taxonómica de especies que sean facilitadoras o inhibidoras de la regeneración natural que se encuentren en cada una de las categorías de regeneración, en los planes de manejo se pueden plantear acciones puntuales que incluyan a estas especies.
- Considerar en los programas de restauración a los frugívoros vertebrados, en especial los murciélagos por su papel como vectores de dispersión, ya que muchas de las semillas que dispersan tienen la capacidad de integrarse al BSS, contribuyendo a la diversidad del mismo.

## XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez-Aquino, C., Williams-Linera, G., & Newton, A. C. (2005). Disturbance Effects on the Seed Bank of Mexican Cloud Forest Fragments. *Biotropica*, 37(3), 337–342. <http://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00044.x>
- Bakker, J. P., Poschod, P., Strykstra, R. J., Bekker, R. M., & Thompson, K. (1996). Seed banks and dispersal: important topics in restoration ecology. *Acta Bot. Neerl.*, 45(4), 461–490.
- Bámaca, E. (2000). *Inventario forestal y plan de manejo integrado de la unidad de manejo Uaxactún, Petén, Guatemala* (Tesis de licenciatura en Ingeniería Agronómica en Recursos Naturales Renovables). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía, Guatemala. Recuperado a partir de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_1881.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1881.pdf)
- Barrios, R. (1995). *50 áreas de interés especial para la conservación en Guatemala*. (D. Marroquín, E. Coronado-Juárez, M. M. López-Selva, R. Santa Cruz, & O. I. Valdéz, Eds.). Guatemala: Centro de Datos para la Conservación del Centro de Estudios Conservacionistas con colaboración de The Nature Conservancy.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Burlington: Elsevier Science. Recuperado a partir de <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=1640956>
- Bazzaz, F. A. (1975). Plant Species Diversity in Old-Field Successional Ecosystems in Southern Illinois. *Ecology*, 56(2), 485–488. <http://doi.org/10.2307/1934981>

- Bedoya-Patiño, J., Estévez-Varón, J., & Castaño-Villa, G. (2010). Banco de semillas del suelo y su papel en la recuperación de los bosques tropicales. *bol.cient.mus.hist.nat.*, *14*(2), 77–91.
- Bekker, R. M., Verweij, G. L., Bakker, J. P., & Fresco, L. F. M. (2000). Soil seed bank dynamics in hayfield succession. *Journal of Ecology*, *88*(4), 594–607. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00485.x>
- Bengtsson, J., Angelstam, P., Elmqvist, T., Emanuelsson, U., Folke, C., Ihse, M., ... Nyström, M. (2003). Reserves, Resilience and Dynamic Landscapes. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, *32*(6), 389–396. <http://doi.org/10.1579/0044-7447-32.6.389>
- Benoit, D. L., Kenkel, N. C., & Cavers, P. B. (1989). Factors influencing the precision of soil seed bank estimates. *Canadian Journal of Botany*, *67*(10), 2833–2840. <http://doi.org/10.1139/b89-364>
- Bizerril, M. X. A., & Raw, A. (1998). Feeding behaviour of bats and the dispersal of *Piper arboreum* seeds in Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, *14*(1), 109–114. <http://doi.org/10.1017/S0266467498000108>
- Botzat, A., Fischer, L., & Farwig, N. (2015). Regeneration potential in South African forest fragments: extinction debt paid off or hampered by contemporary matrix modification? *Plant Ecology*, *216*(4), 535–551. <http://doi.org/10.1007/s11258-015-0457-9>
- Butler, B., & Chazdon, R. (1998). Species richness, spatial variation and abundance of the soil seed bank of a secondary tropical rain forest. *Biotropica*, *30*(2), 214–222.

- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. A. (Eds.). (2011). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.
- Castellanos, E., & Guerra, A. (2009). *El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala* (Cuaderno d). Guatemala: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD-.
- Cayuela, L. (2009). Escalamiento multidimensional. Recuperado a partir de <https://curso-ruah2009.wikispaces.com/3.+Escalamiento+multidimensional>
- CECON. (1999). *Plan Maestro 2000-2004: Biotopo Protegido "San Miguel La Palotada - El Zotz"*. (L. Villar Anléu, Ed.). Guatemala: Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CECON-USAC).
- Charles-Dominique, P. (1986). Inter-relations between frugivorous vertebrates and pioneer plants: Cecropia, birds and bats in French Guyana. En A. Estrada & T. H. Fleming (Eds.), *Frugivores and seed dispersal* (Vol. 15, pp. 119–135). Dordrecht: Springer Netherlands. Recuperado a partir de [http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-94-009-4812-9\\_12](http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-94-009-4812-9_12)
- Chokkalingam, U., & De Jong, W. (2001). Secondary forest: a working definition and typology. *International Forestry Review*, 3(1), 19–26.
- Colwell, R. (2009). Biodiversity: concepts, patterns and measurement. En S. A. Levin, S. R. Carpenter, H. Charles, J. Godfray, A. P. Kinzig, M. Loreau, ... D. S. Wilcove (Eds.), *Princet. Guid. to Ecol.* (pp. 257 – 263). Estados Unidos: Princeton University Press.
- Colwell, R. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples (Versión 9.1.0) [Windows]. Estados Unidos: Universidad de Connecticut. Recuperado a partir de <http://purl.oclc.org/estimates>

- Colwell, R., Mao, C. X., & Chang, J. (2005). Interpolando, extrapolando y comparando las curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia. En *Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades: alfa, beta y gamma* (Sociedad Entomológica Aragonesa, Vol. 4, pp. 73–84). Zaragoza; España: Editorial Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de las Biodiversidad: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; Sociedad Entomológica Aragonesa; Grupo Diversitas-México.
- Comité Científico del Simposio de Biodiversidad. (2010). *Simposio de Biodiversidad y Servicios Ambientales: Libro de Resúmenes*. (p. 67). Guatemala: CEAB-UVG, CECON-USAC, CONAP, Fondo SAM, FDN, IARNA y MARN. Recuperado a partir de [http://www.chmguatemala.gob.gt/Members/esolorzano/mis-documentos-2011/documentos/Libro%20Resumenes%20Simposio%20BySA\\_VEL%20\(2\).pdf](http://www.chmguatemala.gob.gt/Members/esolorzano/mis-documentos-2011/documentos/Libro%20Resumenes%20Simposio%20BySA_VEL%20(2).pdf)
- CONANP, FMCN, & TNC. (2011). *Programa de adaptación al cambio climático en áreas naturales protegidas del complejo de la Selva Maya*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas -CONANP-; Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza -FCN-; The Nature Conservancy -TNC-. Recuperado a partir de [http://cambioclimatico.conanp.gob.mx/documentos/re\\_selva\\_maya.pdf](http://cambioclimatico.conanp.gob.mx/documentos/re_selva_maya.pdf)
- CONAP. (2001). *Plan Maestro de la Reserva de Biosfera Maya* (p. 82 + xvi). Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP).
- Connell, J. H. (1978). Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs. *Science*, 199(4335), 1302–1310. <http://doi.org/10.1126/science.199.4335.1302>
- Dalling, J. W., & Hubbell, S. P. (2002). Seed size, growth rate and gap microsite conditions as determinants of recruitment success for pioneer species. *Journal of Ecology*, 90, 557–568.

- De Souza, M. M., Maia, F. C., & Pérez, M. A. (2006). Bancos de semillas en el suelo. *Agriscientia*, *XXIII*, 33–44.
- Del Valle, J. (2012). Test rápidos de suelos. Recuperado a partir de <http://redhuertosurbanosmadrid.files.wordpress.com/2012/12/test-rc3a1pidos-de-suelos.pdf>
- DUC-CONAP. (2014, agosto 18). Listado de áreas protegidas: Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas. Departamento de Unidades de Conservación -Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Recuperado a partir de <http://www.conap.gob.gt/index.php/servicios-en-linea/informacion-publica/informacion-publica-de-oficio/category/130-actualizacion-de-registro-de-areas-protegidas-sigap.html?download=1200:listado-sigap>
- Estrada-Villegas, S., Pérez-Torres, J., & Stevenson, P. (2007). Dispersión de semillas por murciélagos en un borde de bosque montano. *Ecotropicos*, *20*(1), 1–14.
- FAO. (2003). Textura del suelo. Recuperado el 13 de enero de 2015, a partir de [ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_training/FAO\\_training/general/x6706s/x6706s06.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s06.htm)
- Fenner, M., & Thompson, K. (2005). *The ecology of seeds*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Ferguson, B. G., & Griffith, D. M. (2004). Tecnología agrícola y conservación biológica en El Petén, Guatemala. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*, *(72)*, 72–85.
- Ferguson, B. G., Vandermeer, J., Morales, H., & Griffith, D. M. (2003). Post-Agricultural Succession in El Petén, Guatemala. *Conservation Biology*, *17*(3), 818–828.
- Fleming, T. H. (1988). *The Short-Tailed Fruit Bat: A Study in Plant-Animal Interactions*. University of Chicago Press.

- Fleming, T. H. (2004). Dispersal ecology of neotropical Piper shrubs and treelets. En L. Dyer & A. Palmer (Eds.), *Piper: A Model Genus for Studies of Phytochemistry, Ecology, and Evolution* (pp. 58–77). Boston, MA: Springer Science & Business Media.
- Fleming, T. H., Heithaus, E. R., & Sawyer, W. B. (1977). An Experimental Analysis of the Food Location Behavior of Frugivorous Bats. *Ecology*, 58(3), 619–627. <http://doi.org/10.2307/1939011>
- Fox, J., & Weisberg, S. (2011). *An R Companion to Applied Regression* (Second). Estados Unidos: Sage. Recuperado a partir de <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Galindo-González, J. (1998). Dispersión de semillas por murciélagos: su importancia en la conservación y la regeneración del bosque tropical. *Acta Zoológica Mexicana*, n.s. (73), 57–74.
- Gallardo, J. Á. (2006). Métodos Jerárquicos de Análisis Cluster. En *Ampliación de Análisis de Datos Multivariantes*. España: Universidad de Granada. Recuperado a partir de <http://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-3.pdf>
- García, M., López, J. E., & Ramírez, M. F. (2015a). *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* (Informe final de investigación) (p. 113). Guatemala: Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- García, M., López, J., & Ramírez, M. (2015b). 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. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 2(1), 53–64.
- Garwood, N. C. (1989). Tropical Soil Seed Banks: A Review. En M. A. Leck, V. T. Parker, & R. L. Simpson (Eds.), *Ecology of Soil Seed Banks* (pp. 149–209). Scientia Agricola: Academic Press. Recuperado a partir de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124404052500142>
- Gesford, A. (2006). Appendix 6A: Soil identification in the field. Recuperado el 13 de enero de 2015, a partir de <http://water.epa.gov/polwaste/nps/upload/app6.pdf>
- Gorchov, D. L., Cornejo, F., Ascorra, C., & Jaramillo, M. (1993). The role of seed dispersal in the natural regeneration of rain forest after strip-cutting in the Peruvian Amazon. En T. H. Fleming & A. Estrada (Eds.), *Frugivory and seed dispersal: ecological and evolutionary aspects* (pp. 339–349). Dordrecht: Springer Netherlands. Recuperado a partir de [http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-94-011-1749-4\\_23](http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-94-011-1749-4_23)
- Gotelli, N., & Colwell, R. K. (2011). Estimating species richness. En A. E. Magurran & B. J. McGill (Eds.), *Biol. Divers. Front. Meas. Assess.* (pp. 39–54). Nueva York, Estados Unidos.
- Heerdt, G., Verweij, G., Bekker, R., & Bakker, J. (1996). An Improved Method for Seed-Bank Analysis: Seedling Emergence After Removing the Soil by Sieving. *British Ecological Society*, 10(1), 144–151.
- Hodgdon, B., Hughell, D., Ramos, V., & McNab, V. (2015). *Tendencias en la deforestación de la Reserva de Biosfera Maya, Guatemala 2000-2013* (p. 13). Guatemala: Rainforest Alliance, Wildlife Conservation Society y Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Recuperado a partir de

alliance.org/sites/default/files/publication/pdf/MBR-Deforestation\_150213-ES-2.pdf

- Howorth, 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.
- Hughell, D., & Butterfield, R. (2008). *Impacto de la certificación FSC sobre la deforestación y la frecuencia de incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Maya* (p. 19). Guatemala: Rainforest Alliance. Recuperado a partir de [http://www.rainforest-alliance.org/sites/default/files/publication/pdf/peten\\_studys.pdf](http://www.rainforest-alliance.org/sites/default/files/publication/pdf/peten_studys.pdf)
- Hyatt, L. A., & Casper, B. B. (2000). Seed bank formation during early secondary succession in a temperate deciduous forest. *Journal of Ecology*, 88(3), 516–527. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00465.x>
- INAB-CONAP. (2015). *Mapa forestal por tipo y subtipo de bosque, 2012* (Informe técnico) (p. 26). Guatemala: Instituto Nacional de Bosques -INAB-; Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-. Recuperado a partir de [http://www.inab.gob.gt/Documentos/Mapas/Cobertura2012/Informe\\_de\\_Cobertura\\_Forestal\\_20\\_julio\\_15.pdf](http://www.inab.gob.gt/Documentos/Mapas/Cobertura2012/Informe_de_Cobertura_Forestal_20_julio_15.pdf)
- Ingersoll, C. A., & Wilson, M. V. (1993). Buried propagule bank of a high subalpine site: microsite variation and comparisons with aboveground vegetation. *Canadian Journal of Botany*, 71(5), 712–717. <http://doi.org/10.1139/b93-082>
- INSIVUMEH. (2014). INSIVUMEH - Parámetros. Estación Flores - Petén [Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda]. Recuperado el 12 de septiembre de

- 2014, a partir de <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/PETEN/FLORES%20PETEN%20PARAMETROS.htm>
- Ixcot, L. (2005). *Estudios de biodiversidad en los biotopos: San Miguel la Palotada el Zotz y Naachtún - Dos Lagunas, Petén, Guatemala* (p. 106). Guatemala: Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT) - Centro de Datos para la Conservación (CDC-CECON).
- Johnson, E. a, & Miyanishi, K. (2008). Testing the assumptions of chronosequences in succession. *Ecology letters*, 11(5), 419–31. <http://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01173.x>
- Kindt, R., & Coe, R. (2005). *Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies*. Nairobi (Kenya): World Agroforestry Centre (ICRAF). Recuperado a partir de [http://www.worldagroforestry.org/treesandmarkets/tree\\_diversity\\_analysis.asp](http://www.worldagroforestry.org/treesandmarkets/tree_diversity_analysis.asp)
- Kitajima, K. (2007). Seed and Seedling Ecology. En F. Pugnaire & F. Valladares. (Eds.), *Functional Plant Ecology* (2da ed, Vol. 20073278, pp. 549–580). Boca Ratón, Florida: CRC Press.
- Korb, J. E., Springer, J. D., Powers, S. R., & Moore, M. M. (2005). Soil Seed Banks in *Pinus ponderosa* Forests in Arizona: Clues to Site History and Restoration Potential. *Applied Vegetation Science*, 8(1), 103–112.
- Laporte, J. P. (2006). Trabajos no divulgados del Proyecto Nacional Tikal, Parte 4: Rescate en el Zotz, San José, Petén. En *XIX Simposio de Investigaciones Arquelógicas en Guatemala, 2005* (pp. 949–971). Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

- Lemus-Herrera, C. (2008). *Estructura y composición del banco de semillas en diferentes estadios sucesionales del bosque tropical caducifolio en el municipio de la Huerta, Jalisco* (Tesis de Grado en Biología). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Li, X., Liu, W., & Tang, C. Q. (2010). The role of the soil seed and seedling bank in the regeneration of diverse plant communities in the subtropical Ailao Mountains, Southwest China. *Ecological Research*, 25(6), 1171–1182. <http://doi.org/10.1007/s11284-010-0742-y>
- López, J. (2012). Propiedades físicas y químicas del suelo. Universidad Autónoma de Sinaloa. Recuperado a partir de [http://edafologia-uas.weebly.com/uploads/1/0/4/8/10481013/tema\\_25\\_propiedades\\_fsicas\\_del\\_suelotextura.pptx](http://edafologia-uas.weebly.com/uploads/1/0/4/8/10481013/tema_25_propiedades_fsicas_del_suelotextura.pptx)
- López-Toledo, L., & Martínez-Ramos, M. (2011). The soil seed bank in abandoned tropical pastures: source of regeneration or invasion? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (82), 663–678.
- Lou, S., & Yurrita, C. (2007). *Dinámica de dispersión de murciélagos frugívoros en el paisaje fragmentado del Biotopo Chocón Machacas, Livingston, Izabal* (Informe final No. Proyecto FODECYT No. 21-03) (p. 56). Guatemala: Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología / Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado a partir de <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202003.21.pdf>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Malden, Ma: Blackwell Pub.
- MARN. (2012). *Informe Ambiental de Estado* (p. 374). Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- MARN. (2014). *Política nacional de Cambio Climático*. Guatemala: Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente.

- Marone, L., Cueto, V. R., Milesi, F. A., & Casenave, J. L. de. (2004). Soil seed bank composition over desert microhabitats: patterns and plausible mechanisms. *Canadian Journal of Botany*, 82(12), 1809–1816. <http://doi.org/10.1139/b04-143>
- Martínez-Ramos, M. (1994). Regeneración natural y diversidad de especies arbóreas en selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (54), 179–224.
- Martínez-Ramos, M., & García-Orth, X. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México, Suplemento*(80), 69–84.
- Martins, A. M., & Engel, V. L. (2007). Soil seed banks in tropical forest fragments with different disturbance histories in southeastern Brazil. *Ecological Engineering*, 31(3), 165–174. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.05.008>
- Maza-Villalobos, S. (2012). *Patrones, procesos y mecanismos de la comunidad de un bosque tropical caducifolio en un gradiente sucesional* (Tesis de doctorado en ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maza-Villalobos, S., Balvanera, P., & Martínez-Ramos, M. (2011). Early Regeneration of Tropical Dry Forest from Abandoned Pastures: Contrasting Chronosequence and Dynamic Approaches: Tropical Dry Forest Regeneration Dynamics. *Biotropica*, 43(6), 666–675. <http://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00755.x>
- Maza-Villalobos, S., Lemus-Herrera, C., & Martínez-Ramos, M. (2010). Successional trends in soil seed banks of abandoned pastures of a Neotropical dry region. *Journal of Tropical Ecology*, 2011(27), 35–49. <http://doi.org/10.1017/S0266467410000611>
- Medellin, R. A., & Gaona, O. (1999). Seed Dispersal by Bats and Birds in Forest and Disturbed Habitats of Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 31(3), 478–485. <http://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1999.tb00390.x>

- Menalled, F. (2008). Weed Seedbank Dynamics & Integrated Management of Agricultural Weeds. MSU Extension - Montana State University. Recuperado a partir de <http://store.msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200808AG.pdf>
- Méndez, C. (1997). La Reserva de la Biósfera Maya: un esquema no sustentado de conservación hacia sustentabilidad. *Ecotono*, (Invierno), 8–9.
- Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala. (2015). *Estrategia de Restauración del Paisaje Forestal: Mecanismo para el Desarrollo Rural Sostenible de Guatemala 2015 -2045*. Guatemala: Editorial Serviprensa. Recuperado a partir de <http://www.usaid-cncg.org/wp-content/uploads/2015/05/UICN-Inter-Estrategia-nacional-de-restauraci%C3%B3n-del-paisaje-forestal-baj....pdf>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T - Manuales y Tesis SEA*, 1, 84.
- Moscoso-Marín, L. B., & Diez Gómez, M. C. (2005). Banco de semillas en un bosque de roble de la cordillera central colombiana. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 58(2), 2931–2943.
- Nancy Pywell, & Maryland Forest Service. (2003). Glossary of Forestry Terms. Recuperado el 26 de septiembre de 2014, a partir de <http://www.dnr.state.md.us/forests/gloss.html#r>
- Oksanen, J. (2015). *Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial*. Tutorial. Recuperado a partir de <http://cc.oulu.fi/~jarioksa/opetus/metodi/vegantutor.pdf>

- Olano, J. M., Caballero, I., & Escudero, A. (2012). Soil seed bank recovery occurs more rapidly than expected in semi-arid Mediterranean gypsum vegetation. *Annals of Botany*, 109(1), 299–307. <http://doi.org/10.1093/aob/mcr260>
- Orantes, A. P. (1995). *Composición y caracterización preliminar de tres etapas sucesionales de bosque secundario en campos abandonados después de cultivos de maíz, en la Reserva de la Biosfera Maya* (Tesis de licenciatura en Biología). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ortiz-Arrona, C. (1992). *Banco de semillas del suelo en el bosque mesófilo de montaña de las Joyas, Sierra de Manantlan, Estado de Jalisco* (Tesis de licenciatura en Biología). Universidad de Guadalajara, México.
- Pardos, M., Ruiz del Castillo, J., Cañellas, I., & Montero, G. (2005). Ecophysiology of natural regeneration of forest stands in Spain. *Invest Agrar: Sist Recur For*, 14(3), 434–445.
- Perera, G. A. D. (2005). Diversity and dynamics of the soil seed bank in tropical semi-deciduous forests of Sri Lanka. *Tropical Ecology*, 46(1), 65–78.
- Platt, S. (1992). *Natural regeneration: principles and practice* (April) (p. 8). Estados Unidos: Land for Wildlife.
- Pullo, A. (2005). *Effect of isolation on the composition of soil seed banks on the Atherton Tableland, northeast Queensland, Australia* (Tesis de Maestría en Ciencias). James Cook University, Australia. Recuperado a partir de <http://eprints.jcu.edu.au/1320/>
- Quintana-Ascencio, P., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Domínguez-Vázquez, G., & Martínez-Ico, M. (1996). Soil seed banks and regeneration of tropical rain forest from milpa fields at the Selva Lacandona, Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 28(2), 192–209.

- R Core Team. (2014). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado a partir de <http://www.R-project.org/>
- Ramírez, M. (2015). *Caracterización del banco de semillas del suelo en el Biotopo Protegido Naachtún-Dos Lagunas, Petén* (Informe final, Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-) (p. 64). Guatemala: Centro de Estudios Conservacionistas -CECON- de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Regalado, O., Villagrán, X., Pérez, G., Castellanos, E., Martínez, G., Incer, D., ... Gómez, J. M. (2012). Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2006-2010. *National Forestry Institute (INAB), National Council for Protected Areas (CONAP), Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Guatemala City*, 111.
- Rougès, M. (2008). *Principios de estadística multivariada y su aplicación a ecología del paisaje*. Ecología del Paisaje y Regiones, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Recuperado a partir de <http://ecologiadelpaisaje.googlepages.com/Tema16-2008-apunte.pdf>
- Saatkamp, A., Poschlod, P., & Venable, L. (2013). The functional role of soil seed banks in natural communities. En R. S. Gallagher (Ed.), *Seed: The ecology of regeneration in plant communities* (3ra edición, pp. 263–296). CABI.
- Sandoval, K. (1999). *Análisis estructural de la vegetación arbórea y sotobosque del Parque Nacional Laguna El Tigre Petén, Guatemala* (Tesis de licenciatura en Biología). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala. Recuperado a partir de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06\\_1943.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_1943.pdf)

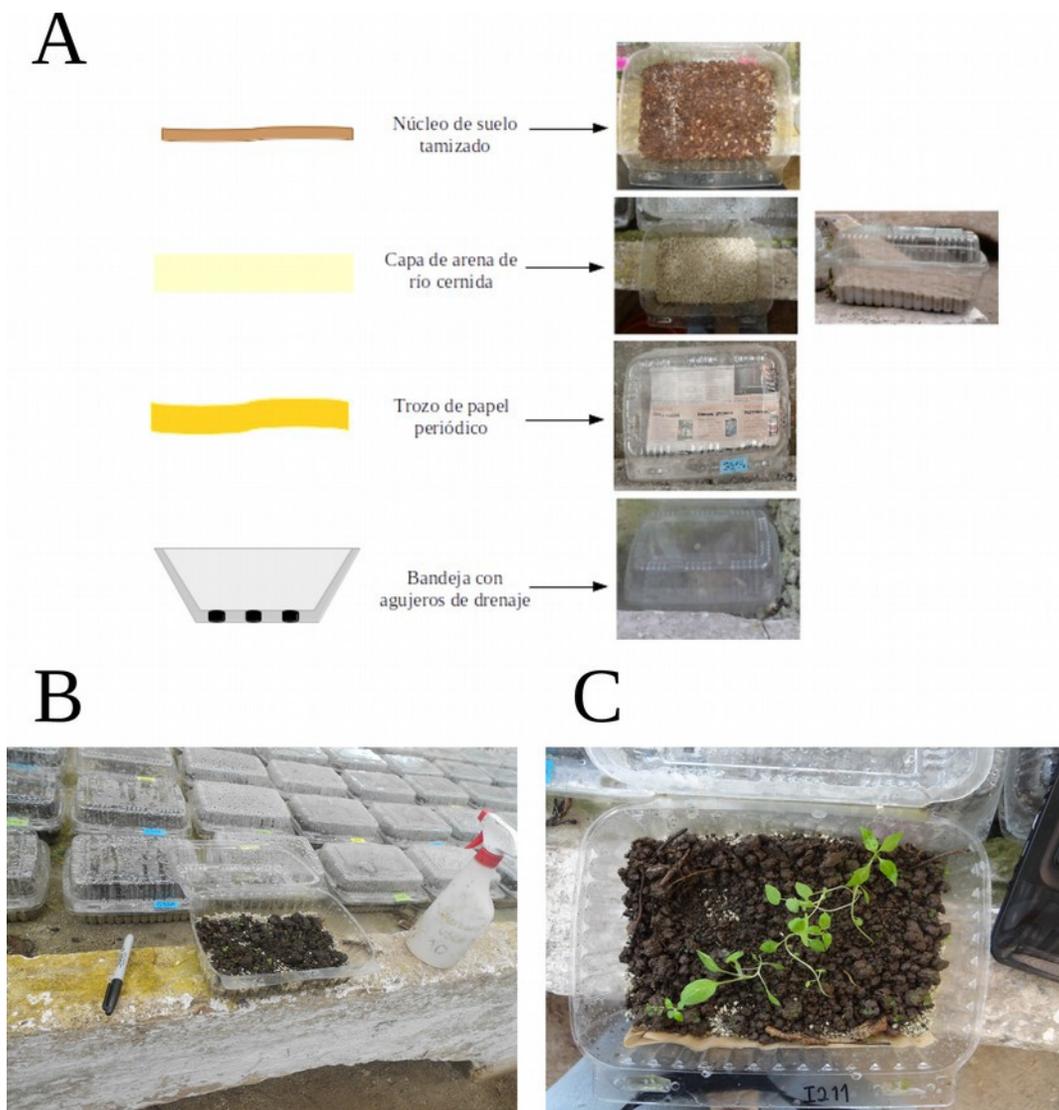
- Servicio Meteorológico Nacional, México. (2014). Climatología: Temperaturas y Lluvia [Servicio Meteorológico Nacional]. Recuperado el 12 de septiembre de 2014, a partir de [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12&Itemid=77](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=77)
- Simpson, R., Leek, M., & Parker, T. (1989). Seed banks: General Concepts and methodological issues. En R. Simpson, M. Leek, & T. Parker (Eds.), *Ecology of Soil Seed Banks* (pp. 3–8). Estados Unidos: Academic Press Inc.
- Soto, M. D. S., & Martí, V. P. (2001). *Prácticas de edafología y climatología*. Valencia: Ed. Univ. Politéc. Valencia.
- Standley, P., & Steyermark, J. (1952). Flora of Guatemala. *Chicago Natural History Museum*, 24(III), 432.
- Teketay, D. (2005). Seed and regeneration ecology in dry Afromontane forests of Ethiopia: I. Seed production - population structures. *Tropical Ecology*, 46(1), 29–44.
- The Nature Conservancy. (2006). *Una visión para el futuro, una agenda para hoy: Plan Ecorregional de las Selvas Maya, Zoque y Olmeca*. (F. Secaira, M. Paiz, & G. Hernández, Eds.). San José, C.R.: The Nature Conservancy.
- Thompson, K. (1986). Small-Scale Heterogeneity in the Seed Bank of An Acidic Grassland. *The Journal of Ecology*, 74(3), 733. <http://doi.org/10.2307/2260394>
- Thompson, K. (2000). The functional ecology of soil seed banks. En M. Fenner (Ed.), *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities* (2da edición, pp. 215–235). Reino Unido: CAB International.
- Thompson, K., Bakker, J. P., & Bekker, R. M. (1997). *The Soil Seed Banks of North West Europe: Methodology, Density and Longevity*. Reino Unido: Cambridge University Press.

- Van Der Pijl, L. (1957). The Dispersal of Plants by Bats (Chiropterochory). *Acta Botanica Neerlandica*, 6(3), 291–315. <http://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1957.tb00577.x>
- Veras, E. E. (2009). *Diagnóstico de la situación actual de las áreas protegidas que coadministra la Universidad de San Carlos de Guatemala y propuesta de lineamientos estratégicos para su sostenibilidad* (Informe de Ejecución Rápida No. INF-2009-007 / MFN-2939) (p. 89). Guatemala: Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado a partir de <http://digi.usac.edu.gt/bvirtual/resumenes2009/inf0907.html>
- Wandrag, E. M., Dunham, A. E., Miller, R. H., & Rogers, H. S. (2015). Vertebrate seed dispersers maintain the composition of tropical forest seedbanks. *AoB PLANTS*. <http://doi.org/10.1093/aobpla/plv130>
- WCS. (2014). *Estado de la Reserva de la Biósfera Maya*. Recuperado a partir de <http://www.stateofthembr.org/es-es/inicio.aspx>
- Whittaker, R. J., & Jones, S. H. (1994). The role of frugivorous bats and birds in the rebuilding of a tropical forest ecosystem, Krakatau, Indonesia. *Journal of Biogeography*, 21(3), 245. <http://doi.org/10.2307/2845528>
- Wijdeven, S. M. J., & Kuzee, M. E. (2000). Seed availability as a limiting factor in forest recovery processes in Costa Rica. *Restoration Ecology*, 8(4), 414–424. <http://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2000.80056.x>
- Wolda, H. (1981). Similarity indices, sample size and diversity. *Oecologia*, 50(3), 296–302.

## XII. ANEXOS

### A. Procedimientos de invernadero

#### i. Bandejas de germinación



**Figura 8: Procedimientos de invernadero.** Donde, A. Partes que integran la bandeja de germinación; B.. Conteo de germinantes; y, C. Ejemplo de una bandeja de germinación. Fuente: Elaboración propia.

ii. Distribución espacial de bandejas de germinación

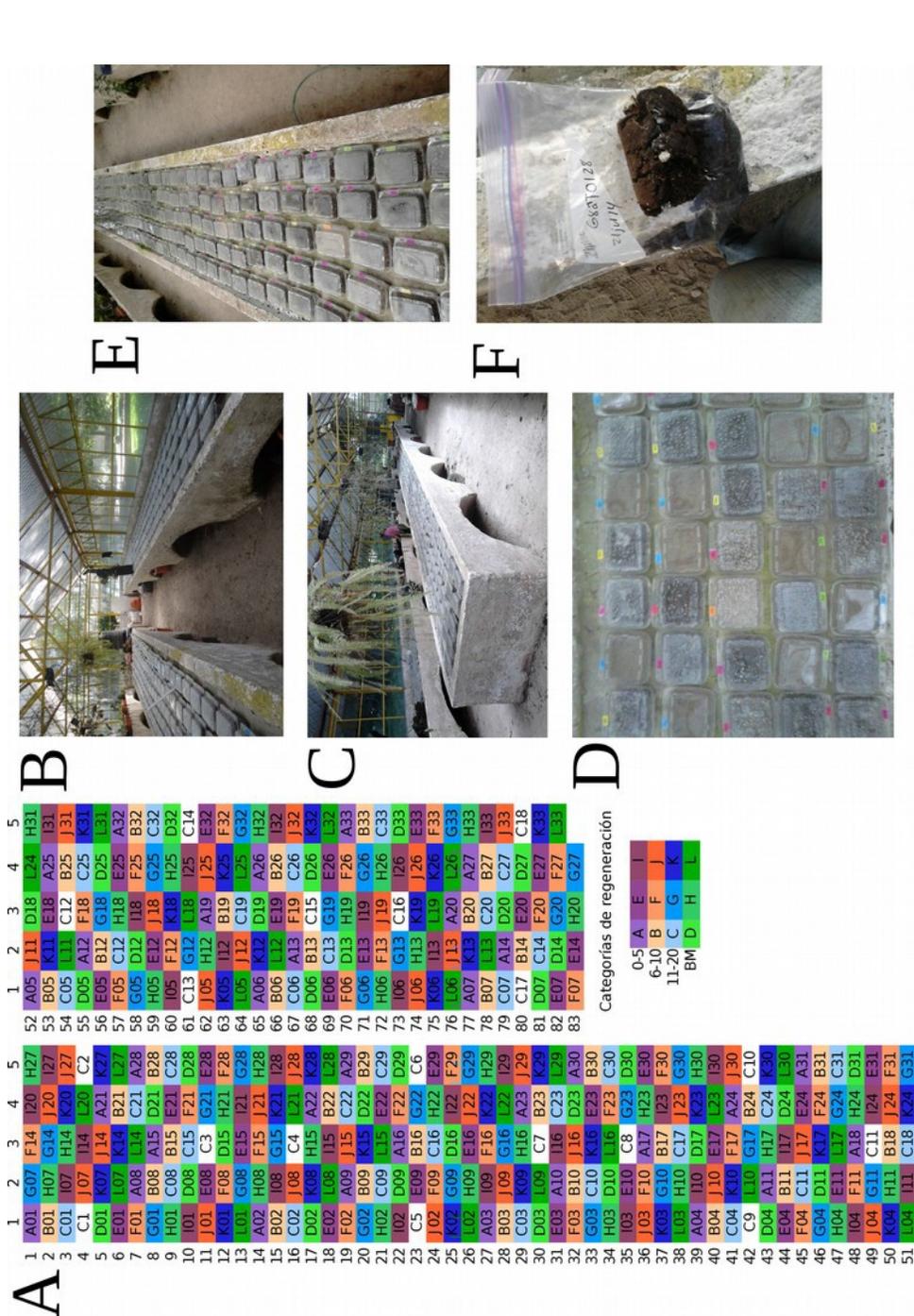


Figura 9: Distribución espacial de las bandejas de germinación. Donde, A, Disposición espacial de las bandejas según núcleo y tratamientos; B, C, E: distribución espacial de las bandejas en el invernadero; y, F, Núcleo de suelo previo tamizado. Fuente: Elaboración propia.

## B. Banco de semillas del suelo de un bosque del Biotopo Protegido San Miguel la Palotada el Zotz

Cuadro 12: Taxa germinantes del banco de semillas del suelo en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada – El Zotz, Petén.

	0 a 5 años en regeneración			6 a 10 años en regeneración			11 a 20 años en regeneración			Bosque Sin Perturbación Aparente			Abundancia total
	A	E	I	B	F	J	C	G	K	D	H	L	
<b>Asteraceae</b>													
<i>Ageratina</i> sp (GE082)							4						4
<i>Baccharis trinervis</i> (GE109)		2			1	1	1						5
GE001	1	4	5	3	5	8	9	6	8	8	3	34	94
GE075			6				2						8
GE101	1		2	2					1				6
<b>Piperaceae</b>													
<i>Piper martensianum</i> (GE007)	26	1	5	31	12	11		7	6	1		3	103
<i>Piper umbellatum</i> (GE002)	30	37	18	17	17	104	38	47	114	6	4	491	923
<b>Poaceae</b>													
GE006								2	2				4
GE019	1	2	4						5				12
GE043				1					1				2
GE054			14										14
GE085		4											4
GE102									1				1
GE113									1				1
<b>Rutaceae</b>													
<i>Zanthoxylum</i> sp. (GE096)												1	1
<b>Solanaceae</b>													
<i>Physalis</i> sp. (GE095)	1			1	1			1	1		1		6
<b>Desconocida</b>													
GE003	2	64	1	143	7	4	11	7	8		1	7	255
GE004	1	5			1	1	5	3			6	3	25
GE009				3		6	10		1	2		11	33
GE010	2	307	3	12	23	2	220	19	37	3	2	6	636
GE011		2		1	1	7		1	2	2		10	26
GE012					1								1
GE013	19		11		2			1					33
GE014	1			16			7						24
GE015		2		15				1			7		25
GE016	11		2										13
GE017	3	5	18	9	3	8	5	1	2	1		1	56
GE018	6		3	1			2						12
GE020					3	10	3	2	2	2		13	35
GE021			3		1	10	4					1	19
GE022	1	4					15	3	1				24



	0 a 5 años en regeneración			6 a 10 años en regeneración			11 a 20 años en regeneración			Bosque Sin Perturbación Aparente			Abundancia total
	A	E	I	B	F	J	C	G	K	D	H	L	
GE088		5	1		1		1						8
GE089	1												1
GE091				1									1
GE093										1	3		4
GE097				2		1	1						4
GE098							1	1		1	1		4
GE099		1			1			1				2	5
GE100												2	2
GE105			2	3			1	1					7
GE107					1								1
GE108	2												2
GE110							1						1
GE111					2								2
GE112									2				2
GE114						1							1
GE115			2		1			4					7
<b>Germinantes totales</b>	<b>117</b>	<b>583</b>	<b>97</b>	<b>436</b>	<b>114</b>	<b>202</b>	<b>502</b>	<b>140</b>	<b>214</b>	<b>38</b>	<b>29</b>	<b>627</b>	<b>3099</b>
<b>Riqueza total</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>43</b>	<b>32</b>	<b>30</b>	<b>42</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	<b>17</b>	<b>11</b>	<b>33</b>	<b>91</b>
<b>Densidad de especies (especies por 0.22m<sup>2</sup>)</b>	23.67 ± 3.21			35 ± 7			33.33 ± 7.57			20.33	11.37	103.47 especies por 0.88 m <sup>2</sup>	
<b>Densidad de semillas (abundancia de semillas por m<sup>2</sup>)</b>	3625.01 ± 3752.38			3420.34 ± 2270.87			3893.37 ± 2609.63			3156.54 ± 4675.95		3523.81 ± 2964.96	

Fuente: Elaboración propia. Donde, GE hace referencia a la palabra “germinantes”, y las densidades muestran la cifra promedio junto al valor de una desviación estándar de la categoría de regeneración correspondiente .

## C. Vegetación en pie de un bosque del Biotopo Protegido San Miguel la Palotada el Zotz

Cuadro 13: Taxa de la vegetación en pie en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada – El Zotz, Petén.

	0 a 5 años en regeneración			6 a 10 años en regeneración			11 a 20 años en regeneración			Bosque sin perturbación aparente			Abundancia total
	A	E	I	B	F	J	C	G	K	D	H	L	
<b>Cycadidae</b>													
<b>Cycadales</b>													
<b>Zamiaceae</b>													
Msp421				2							2		4
Msp528	2												2
Zamia sp.						1	1	1				1	4
<b>Magnoliidae</b>													
<b>Alismatales</b>													
<b>Araceae</b>													
Msp420		1								44	3		48
<b>Apiales</b>													
<b>Araliaceae</b>													
Mano de león					1	9		2	1				13
<b>Arecales</b>													
<b>Araceae</b>													
Msp668						5		3	2			5	15
<b>Areaceae</b>													
Bayal / Msp669						1		3	1			1	6
Coco								3					3
Corozo					15								15
Escobo		5		2		17	2	14	21	32	11	27	131
Guano									3	1			4
Msp185	1	1		13	4								19
Msp643								1					1
<b>Arecaeae</b>													
Pacaya		1											1
Xate										12	10	1	23
Xate macho												1	1
<b>Asterales</b>													
<b>Asteraceae</b>													
Msp187		1		1					1				3
Tres puntas				1									1
<b>Boraginales</b>													
<b>Boraginaceae</b>													
Msp534	61			1									62
Tacuche negro/Roble		1		1			1	1					4
<b>Ericales</b>													
<b>Primulaceae</b>													
Msp475				1									1
<b>Sapotaceae</b>													
Chicozapote									1	4	6	9	20
Silión						3							3
Tempisque												4	4
Zapotillo						2				7	1	24	34
Zapotillo hoja ancha		1		1						2	1		5
Zapotillo hoja fina										32	4		36











	0 a 5 años en regeneración			6 a 10 años en regeneración			11 a 20 años en regeneración			Bosque sin perturbación aparente			Abundancia total
	A	E	I	B	F	J	C	G	K	D	H	L	
Msp590					6								6
Msp591					1								1
Msp592					2								2
Msp593					1								1
Msp594					1								1
Msp598					1								1
Msp601					1								1
Msp602							1						1
Msp603					2								2
Msp605								4					4
Msp608								2					2
Msp610								15	7	8			30
Msp611								1					1
Msp614								1					1
Msp615								1					1
Msp616								1					1
Msp617								1					1
Msp619								2					2
Msp622								4					4
Msp626								1					1
Msp627								9					9
Msp628								2					2
Msp629								1					1
MSP642									1				1
Msp645									2				2
Msp654									4				4
Msp657									4				4
Msp658									1				1
Msp663									1				1
Msp665									5				5
Msp666									2				2
Msp672									2				2
Msp675										2			2
Msp678										5			5
Msp679										12			12
Msp680										1			1
Msp683										3			3
Msp687										1			1
Msp688										1			1
Msp689										1			1
Msp692										1			1
Msp693										1			1
Msp695										1			1
Msp697										3			3
Msp702						2							2
Msp704						1							1
Msp707						5							5
Msp708						2							2
Msp709						1							1
Msp710						1							1
Msp711						4							4
Msp712						2							2
Msp713						3							3
Msp714						1							1
Msp715						2							2
Msp716						1							1
Msp717						1							1
Msp718						1							1
Msp719						2							2

	0 a 5 años en regeneración			6 a 10 años en regeneración			11 a 20 años en regeneración			Bosque sin perturbación aparente			Abundancia total
	A	E	I	B	F	J	C	G	K	D	H	L	
Msp720						2							2
Msp723						1							1
Msp725						1							1
Msp726						2							2
Msp727						1							1
Msp728						1							1
Msp729												4	4
Msp730												2	2
Msp731												1	1
Msp735												1	1
Msp740												3	3
Msp747												3	3
Msp749												1	1
Msp750												1	1
Msp754												1	1
Msp756												1	1
Msp757												2	2
Msp760												11	11
Msp761												1	1
Msp762												3	3
Msp763												1	1
Msp8737												2	2
Nance agrio		1											1
Papaya de montaña					1								1
Pata de cojolita			1	4	1	2		4					12
Salvia de monte						1	8						9
Stamariita	5					1							6
Toloc										1			1
Vara de goma			4		1								5
<b>Total general</b>	<b>247</b>	<b>236</b>	<b>121</b>	<b>220</b>	<b>170</b>	<b>215</b>	<b>185</b>	<b>225</b>	<b>223</b>	<b>495</b>	<b>295</b>	<b>250</b>	<b>2882</b>
<b>Riqueza total</b>	<b>46</b>	<b>59</b>	<b>38</b>	<b>45</b>	<b>59</b>	<b>51</b>	<b>51</b>	<b>50</b>	<b>58</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>57</b>	<b>354</b>

Fuente: Elaboración propia. Donde, Msp hace referencia a la palabra "morfoespecie"; \*El hábito de cada especie vegetal se determinó según las características que presentaron en las subparcelas correspondientes a H: herbáceo; A: arbóreo; AR: arbustivo; SA: subarbustivo.

## D. Rarefacción y extrapolación basada en muestras del BSS y Vegetación en pie del BPSMPZ

**Cuadro 14: Rarefacción de la curva empírica de rarefacción basada en muestras del banco de semillas del suelo y su extrapolación con un mayor esfuerzo de muestreo en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada – El Zotz, Petén.**

Unidades de muestreo	Categorías de regeneración			Bosque sin perturbación aparente
	0 a 5 años	6 a 10 años	11 a 20 años	
<b>1</b>	<b>23.67</b>	<b>35</b>	<b>33.33</b>	<b>20.33</b>
<b>2</b>	<b>37</b>	<b>54</b>	<b>49</b>	<b>32.33</b>
<b>3</b>	<b>46</b>	<b>65</b>	<b>60</b>	<b>40</b>
4	52.08	71.37	67.72	44.9
5	56.18	75.06	73.15	48.03
6	58.94	77.19	76.95	50.03
7	60.81	78.43	79.63	51.3
8	62.07	79.14	81.5	52.12
9	62.92	79.56	82.82	52.64
10	63.5	79.8	83.75	52.97

Fuente: Elaboración propia. Donde, se muestra con negrita y sombra gris la rarefacción de los datos observados.

**Cuadro 15: Rarefacción de la curva empírica de rarefacción basada en muestras de la vegetación en pie y su extrapolación con un mayor esfuerzo de muestreo en cuatro categorías de regeneración de un bosque alto del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada – El Zotz, Petén.**

Unidades de muestreo	Categorías de regeneración			Bosque sin perturbación aparente
	0 a 5 años	6 a 10 años	11 a 20 años	
<b>1</b>	<b>47.67</b>	<b>53</b>	<b>51.67</b>	<b>48</b>
<b>2</b>	<b>87.67</b>	<b>98.33</b>	<b>85.67</b>	<b>81.33</b>
<b>3</b>	<b>123</b>	<b>138</b>	<b>112</b>	<b>108</b>
4	154.21	172.71	132.4	129.33
5	181.78	203.08	148.19	146.4
6	206.12	229.65	160.43	160.05
7	227.65	252.9	169.9	170.98
8	246.65	273.25	177.24	179.71
9	263.43	291.05	182.93	186.7
10	278.26	306.63	187.33	192.3

Fuente: Elaboración propia. Donde, se muestra con negrita y sombra gris la rarefacción de los datos observados.

**Cuadro 16: Rarefacción y extrapolación de la curva empírica de rarefacción basada en muestras del banco de semillas del suelo y de la vegetación en pie con un mayor esfuerzo de muestreo de un bosque alto del Biotopo Protegido San Miguel La Palotada – El Zotz, Petén.**

Unidades de muestreo	BSS	Vegetación en pie	Unidades de muestreo	BSS	Vegetación en pie
<b>1</b>	<b>28.08</b>	<b>50.08</b>	<b>31</b>	108.89	653.75
<b>2</b>	<b>43.36</b>	<b>92.08</b>	<b>32</b>	109.19	665.51
<b>3</b>	<b>53.9</b>	<b>128.59</b>	<b>33</b>	109.45	676.94
<b>4</b>	<b>61.7</b>	<b>161.14</b>	<b>34</b>	109.68	688.06
<b>5</b>	<b>67.79</b>	<b>190.68</b>	<b>35</b>	109.9	698.86
<b>6</b>	<b>72.72</b>	<b>217.88</b>	<b>36</b>	110.09	709.37
<b>7</b>	<b>76.85</b>	<b>243.28</b>	<b>37</b>	110.27	719.58
<b>8</b>	<b>80.39</b>	<b>267.25</b>	<b>38</b>	110.42	729.51
<b>9</b>	<b>83.49</b>	<b>290.1</b>	<b>39</b>	110.56	739.17
<b>10</b>	<b>86.26</b>	<b>312.08</b>	<b>40</b>	110.69	748.55
<b>11</b>	<b>88.75</b>	<b>333.33</b>	<b>41</b>	110.81	757.68
<b>12</b>	<b>91</b>	<b>354</b>	<b>42</b>	110.91	766.55
<b>13</b>	93.03	374.09	<b>43</b>	111.01	775.17
<b>14</b>	94.86	393.63	<b>44</b>	111.09	783.56
<b>15</b>	96.52	412.62	<b>45</b>	111.17	791.71
<b>16</b>	98.01	431.08	<b>46</b>	111.24	799.63
<b>17</b>	99.36	449.03	<b>47</b>	111.3	807.34
<b>18</b>	100.58	466.48	<b>48</b>	111.36	814.83
<b>19</b>	101.68	483.45	<b>49</b>	111.41	822.11
<b>20</b>	102.67	499.94	<b>50</b>	111.46	829.19
<b>21</b>	103.57	515.97	<b>51</b>	111.5	836.07
<b>22</b>	104.38	531.56	<b>52</b>	111.53	842.76
<b>23</b>	105.11	546.72	<b>53</b>	111.57	849.27
<b>24</b>	105.77	561.46	<b>54</b>	111.6	855.6
<b>25</b>	106.36	575.78	<b>55</b>	111.63	861.74
<b>26</b>	106.9	589.71	<b>56</b>	111.65	867.72
<b>27</b>	107.38	603.25	<b>57</b>	111.67	873.53
<b>28</b>	107.82	616.41	<b>58</b>	111.69	879.18
<b>29</b>	108.22	629.21	<b>59</b>	111.71	884.68
<b>30</b>	108.57	641.65	<b>60</b>	111.73	890.02

Fuente: Elaboración propia. Donde, se muestra con negrita y sombra gris la rarefacción de los datos observados.

## E. Catálogo de las especies del BSS del BPSMPZ

Asteraceae

*Ageratina* sp (GE082)



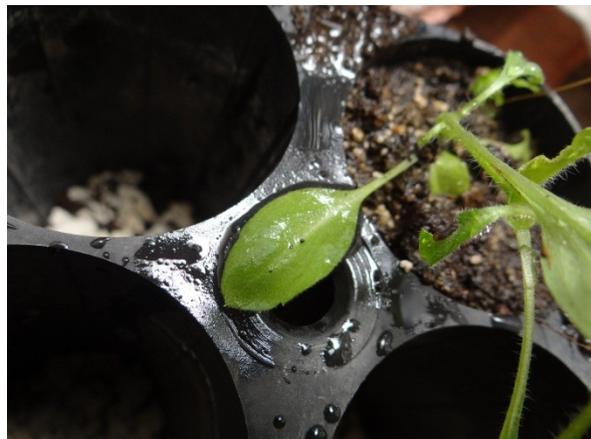
*Baccharis trinervis* (GE109)



GE001



GE075



GE101



**Piperaceae**

*Piper martensianum* (GE007)



*Piper umbellatum* (GE002)



**Poaceae**  
GE006



GE019



GE043



GE054



GE085



GE102



GE113



**Rutaceae**

*Zanthoxylum* sp. (GE096)



**Solanaceae**

*Physalis* sp. (GE095)



**Desconocida**

GE003



GE004



GE009



GE010



GE011



GE012



GE013



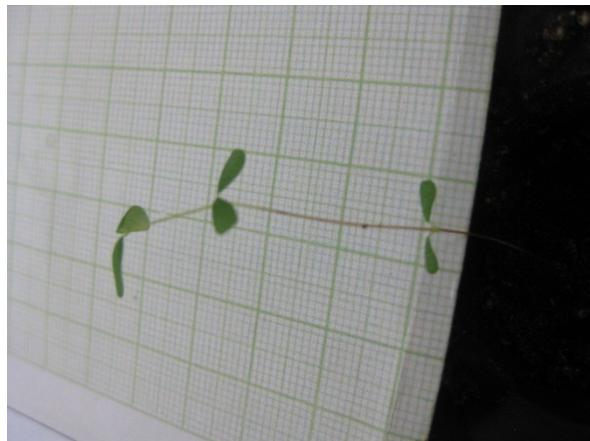
GE014



GE015



GE016



GE017



GE018



GE020



GE021



GE022



GE023



GE024



GE025



GE027



GE028



GE029



GE031



GE032



GE034



GE035



GE036



GE037



GE039



GE040



GE041



GE042



GE044



GE045



GE047



GE048



GE049



GE050



GE055



GE057



GE058



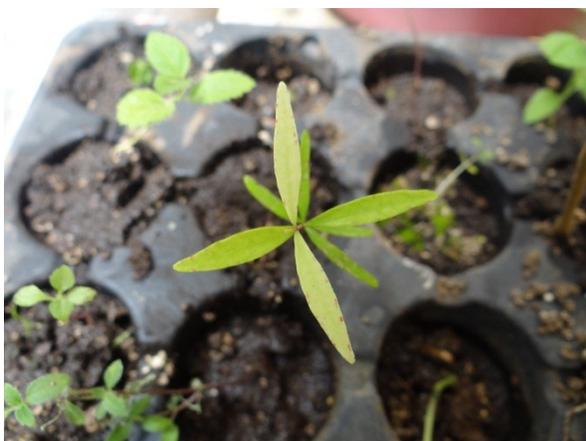
GE060



GE061



GE062



GE063



GE064



GE065



GE067



GE068



GE069



GE070



GE071



GE073



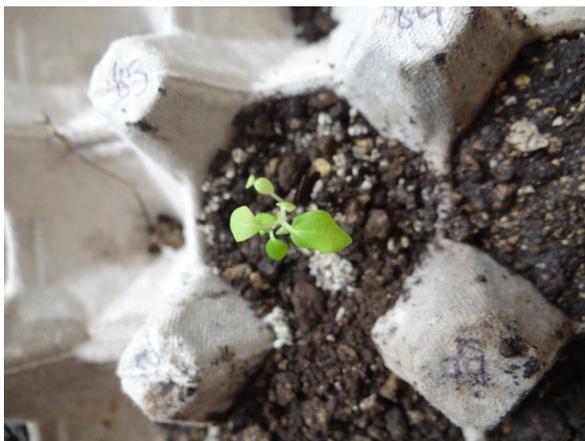
GE076



GE078



GE079



GE081



GE083



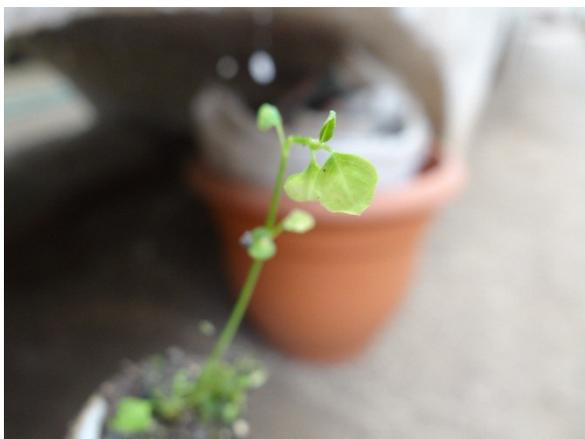
GE084



GE086



GE087



GE088



GE089



GE091



GE093



GE097



GE098



GE099



GE100



GE105



GE107



GE108



GE110



GE111



GE112

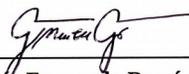


GE114



GE115





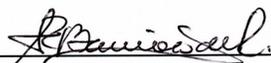
**María Fernanda Ramírez Posadas**  
Autora



**Licenciado Manolo José García Vettorazzi**  
Asesor



**M en C. Javier Antipatro Rivas Romero**  
Revisor



**Lcda. Ana Rosalito Barrios Solís de Rodas**  
Directora de la Escuela de Biología  
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia



**PhD. Rubén Dariel Velásquez Miranda**  
Decano de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia  
Universidad de San Carlos de Guatemala