



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Dirección General de Investigación



Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y
Ambiente
-PIURNA-

INFORME FINAL

Análisis de la efectividad ecológica de los espacios terrestres incluidos
en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP).

Nombres de los integrantes del equipo de investigación:

- Lic. Dulce M. Bustamante, PhD. (coordinadora)
- Lic. Christian G. Estrada, MSc. (coordinador)
- Lic. Mauricio García (auxiliar de investigación II)
- Br. Oscar Machuca (auxiliar de investigación II)

Guatemala, 10 de enero de 2012

Índice General

- 1. Resumen** 6
- 2. Introducción** 7
- 3. Antecedentes** 9
 - 3.1 La creación de Áreas Protegidas (AP's) en Guatemala 13
 - 3.2 Representatividad 14
 - 3.3 Complementariedad 15
 - 3.4 Análisis de Vacíos de Conservación (AVC) en el SIGAP 16
 - 3.5 La efectividad ecológica de las AP's 17
- 4. Justificación** 19
- 5. Objetivos** 21
 - 5.1 Objetivo General 21
 - 5.2 Objetivos Específicos 21
- 6. Métodos** 22
 - 6.1 Área de estudio 22
 - 6.2 Consideraciones metodológicas puntuales 23
 - 6.3 Uso de Sistema de Información Geográfica 23
 - 6.4 Análisis de la Información 24
 - 6.4.1 Recopilación de información de distribución potencial 24
 - i. Fuentes 24
 - ii. Selección de especies endémicas 25
 - iii. Base de datos de las especies 25
 - 6.4.2 Edición de capas digitales 25
 - 6.4.3 Recopilación de la información de cobertura forestal y SIGAP 26
 - 6.5 Análisis de diversidad 26
 - 6.5.1 Medidas de diversidad 26
 - 6.6 Análisis de complementariedad 27
 - 6.7 Análisis de representatividad 28
 - 6.7.1 Identificación de áreas de alto valor de diversidad 28
 - 6.7.2 Representatividad dentro del SIGAP 28
 - 6.8 Análisis *gap* 28
 - 6.8.1 Identificación de Especies *gap* 28
 - 6.8.2 Cobertura de distribución vs. SIGAP 29
 - 6.8.3 Porcentaje de protección 29
 - 6.9 Análisis de las variables predictoras de la biodiversidad 29
 - 6.10 Regionalización faunística de Guatemala 29
- 7. Presentación de resultados** 31
 - 7.1 Recopilación de información de distribución potencial 31
 - 7.2 Recopilación de la información de cobertura forestal y SIGAP 32
 - 7.3 Análisis de diversidad 32

7.3.1	Medidas de diversidad	32
i.	Diversidad Alfa	32
ii.	Diversidad Beta	35
iii.	Diversidad Gamma	36
iv.	Rangos de Restricción	39
7.4	Análisis de complementariedad	40
7.5	Análisis de representatividad	43
7.5.1	Identificación de áreas de alto valor de diversidad	43
7.5.2	Representatividad dentro del SIGAP	43
7.6	Análisis <i>gap</i>	44
7.6.1	Identificación de especies <i>gap</i>	44
7.6.2	Cobertura de distribución vs. SIGAP	49
7.6.3	Porcentaje de protección	57
7.7	Análisis de variables predictoras de la biodiversidad	58
7.8	Regionalización faunística de Guatemala	59
7.8.1	Descripción de las provincias faunísticas	61
i.	Provincia Yucatánica	61
ii.	Provincia Petenera	61
iii.	Provincia Montañosa Central	61
iv.	Provincia Altiplano	62
v.	Provincia Bocacosta	63
vi.	Provincia Valles Secos	63
vii.	Provincia Costera del Pacífico	63
8.	Discusión	67
9.	Conclusiones	81
10.	Recomendaciones	84
11.	Bibliografía	86
12.	Anexos	93

Índice de Ilustraciones y cuadros

o Figuras (fotografías, gráficas, diagramas, mapas)

Figura 1. Topografía y delimitación del área geográfica a la cual se circunscribe el estudio, denominada "Mesoamérica Norte". 22

Figura 2. Extensión y localización geográfica del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas. 22

Figura 3. Tendencia y estatus de las poblaciones y especies endémicas con distribución en Guatemala. 31

Figura 4. Mapa sobre la diversidad alfa de los mamíferos endémicos distribuidos en Guatemala. 33

Figura 5. Mapas sobre la diversidad alfa de a) las aves endémicas, y b) los reptiles endémicos distribuidos en Guatemala. 34

Figura 6. Mapa sobre la diversidad alfa de los anfibios endémicos distribuidos en Guatemala. 34

Figura 7. Mapas sobre la diversidad beta de a) los anfibios, y, b) los reptiles endémicos distribuidos en Guatemala. 35

Figura 8. Mapas sobre la diversidad beta de a) las aves, y, b) los mamíferos endémicos distribuidos en Guatemala. 36

Figura 9. Mapa sobre la diversidad gamma de los mamíferos endémicos distribuidos en Guatemala. 37

Figura 10. Mapa sobre la diversidad gamma de las aves endémicas distribuidas en Guatemala. 37

Figura 11. Mapa sobre la diversidad gamma de los reptiles endémicos distribuidos en Guatemala. 37

Figura 12. Mapa sobre la diversidad gamma de los anfibios endémicos distribuidos en Guatemala. 38

Figura 13. Mapa sobre el Rango de Restricción de las especies de a) anfibios y b) reptiles endémicos distribuidos en Guatemala. 39

Figura 14. Mapa sobre el Rango de Restricción de las especies de a) mamíferos y b) aves endémicos distribuidos en Guatemala. 40

Figura 15. Complementariedad de las áreas protegidas en Guatemala, referente con la conservación de las especies endémicas distribuidas dentro del SIGAP. 41

Figura 16. Representación gráfica del desempeño del modelo, donde se comparan los valores residuales frente a los predichos. 59

Figura 17. Hipótesis cladística acerca de la clasificación de las regiones biogeográficas guatemaltecas. 60

Figura 18. Localización geográfica de las provincias biogeográficas identificadas con PAE. 65

o Tablas (cuadros)

Cuadro No. 1. Áreas Protegidas dentro del SIGAP que se complementan para conservar el 92.77% de las especies endémicas que se distribuyen en el país. 41

Cuadro No. 2. Especies sin distribución potencial dentro del SIGAP. 45

Cuadro No. 3 Especies endémicas protegidas dentro del SIGAP. 45

Cuadro No. 4 Rangos de protección dentro del SIGAP de 154 especies endémicas. 49

Cuadro No. 5 Cantidad de especies endémicas presentes en cada una de las áreas protegidas que integran el SIGAP. 50

Cuadro No. 6. Porcentaje de protección por grupo taxonómico de las especies endémicas presentes en Guatemala. 57

Cuadro No. 7 Coeficientes y significancia de las variables predictoras de la riqueza de vertebrados endémicos. 58

Cuadro No. 8. Provincias biogeográficas con sus taxa característicos. 66

Siglas y abreviaciones

AP	Área Protegida
APE	Áreas de Protección Especial
APs	Áreas Protegidas
AVC	Análisis de Vacíos de Conservación
CECON	Centro de Estudios Conservacionistas
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
INAB	Instituto Nacional de Bosques
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MICUDE	Ministerio de Cultura y Deportes
mm	milímetros
msnm	metros sobre el nivel del mar
ONG's	Organizaciones No Gubernamentales
PAE	Análisis de Parsimonia de Endemismo
RRI	Índices de Rango de Restricción
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIGAP	Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas
UICN	Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
WWF	World Wildlife Fund

1. Resumen:

La Ley de Áreas Protegidas (APs) es el instrumento por excelencia de conservación de los ecosistemas, paisajes y biodiversidad presentes en Guatemala. Desafortunadamente, no ha existido ningún esfuerzo que evidencié el papel del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) en la conservación de las especies de vertebrados endémicos en cada una de las regiones. Más aún, no se han evaluado los patrones biogeográficos de endemismo de los vertebrados en Guatemala. Utilizando técnicas analíticas modernas, donde se combina el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y a través de estadística computacional con ecología, se identificaron zonas o regiones ricas en especies endémicas en Guatemala y se contrastaron con su nivel de protección dentro del SIGAP; además se describieron patrones espaciales de la distribución de la diversidad de vertebrados endémicos y se realizó una propuesta de regionalización faunística para el país. La identificación de estas áreas de alta biodiversidad es importante ya que las acciones y estrategias de conservación en el país, se pueden priorizar en sitios importantes enfocándose en hábitats, más que en un número pequeño de especies carismáticas. De tal cuenta, este tipo de análisis busca ser una herramienta para identificar una serie de APs complementarias que maximicen la protección de los hábitats importantes para las especies endémicas.

2. Introducción

En los últimos 30 años se ha dado un incremento importante en la creación de APs en el mundo. En 1972 existían 16 mil 394 con una superficie de 4.1 millones de km², y para el 2003 se registraron 102,102 protegiendo un total de 18.8 millones de km² (Semarnat 2005). En muchos países, estas áreas se conciben como zonas totalmente silvestres, sin presencia humana. En Guatemala, sin embargo, se considera que la población local puede tener un papel clave para concretar el concepto de desarrollo regional sustentable (CONAMA 1999; MARN-URL/IARNA-PNUMA 2009; CONAP 2010).

La función principal de un AP es preservar elementos y procesos de la biodiversidad en el medio silvestre. Éstas deben ser efectivas en su conservación y mantenimiento a largo plazo, además deberán proteger los servicios ambientales que a diario se utilizan, dado el rápido incremento de la población humana, la cual demanda a diario mayor cantidad de espacios, recursos básicos y más lugares para disponer sus desechos (Margules & Pressey 2000; Elbers 2011). Lo ideal, es que estas áreas brinden la mayor cobertura a la máxima riqueza de una determinada región, incluyendo la diversidad de hábitat, las diferentes formas de vida, las especies endémicas, raras, vulnerables, amenazadas, y desde luego, considere las necesidades inmediatas y de largo plazo de las poblaciones humanas locales. Para tal efecto, la definición del tamaño, ubicación y configuración de un AP deberá basarse en la información biológica, ecológica y socioeconómica del lugar o región que se busca proteger (Hernández 2006; Vázquez y Valenzuela-Galván 2009).

Por lo que, la simple presencia de una especie o de diferentes especies al interior de un AP o un sistema de APs, no es suficiente para asegurar su conservación o permanencia a largo plazo, particularmente de aquellas con requerimientos de área y demandas específicas de hábitat que no han sido consideradas en el diseño inicial (Rodrigues *et al.* 2004a; Vázquez y Valenzuela-Galván 2009). No se puede esperar que las APs protejan lo que en ellas no está contenido, siendo el requerimiento mínimo para asegurar la efectividad de éstas, la representación de todas las especies que necesitan ser conservadas al interior

de sus límites (Rodrigues & Gaston 2001). Ante esta debilidad, el mundo entero ha aceptado la creación de redes nacionales e internacionales de APs como una respuesta fácil al problema. Sin embargo poco se ha evaluado o cuestionado su eficacia; las únicas reglas aceptadas han sido que a mayor número de áreas mejores resultados, y que las áreas con grandes superficies son mejores que las pequeñas (Simberloff & Abele, 1982; Soulé & Simberloff 1986; Rozzi *et al.* 2001).

Evaluar la efectividad de los programas de conservación de ecosistemas, comunidades, y poblaciones contrastando las prioridades de biodiversidad con las APs existentes, permite identificar vacíos en la preservación de la biodiversidad que necesiten incluirse a las áreas ya decretadas, o designarse nuevas APs (Armesto y Smith-Ramírez 2001). Además, medir la efectividad ecológica de las APs permite, a) generar información que ayude a fortalecer y asegurar el éxito de las propuestas de conservación; b) construir marcos de referencia que permitan aprender de los logros, para responder de una forma más eficiente ante las fallas o imprecisiones de las propuestas de conservación que se estén desarrollando; c) mejorar la eficiencia o efectividad de los procesos y trabajos encaminados a la identificación y selección de los sitios futuros que se pretendan designar para la conservación; d) hacer más comprensible la identificación de procesos que se deban restringir en éstas; e) facilitar y establecer acciones apropiadas de manejo en niveles locales y regionales; f) reducir el posible escepticismo entre los diseñadores de políticas, agencias de financiamiento, dueños de la tierra y otros, del valor real que a largo plazo tienen las APs en los esfuerzos y las tareas de conservación (Gaston *et al.* 2006).

3. Antecedentes

Actualmente, uno de los mayores retos para la Biología de la Conservación es determinar la efectividad ecológica de las APs, considerándolo como un aspecto primordial en las tareas futuras de planeación de la conservación (Margules & Pressey 2000; Gaston *et al.* 2006). En Guatemala, al igual que en la mayor parte de los países en desarrollo, no existía una tradición en la aplicación de procesos de seguimiento y evaluación en materia de gestión gubernamental. Sin embargo, el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) desde el año 2004 ha venido desarrollando, e implementando la Estrategia para el Monitoreo del Manejo de Áreas Protegidas del SIGAP, conformado por distintos subsistemas, sobresaliendo el de monitoreo, el cual permite evaluar los efectos de los programas institucionales en la biodiversidad y las comunidades de cada AP, así como detectar modificaciones en la diversidad y abundancia de las especies que se encuentran en estos sitios.

El SIGAP tiene el propósito de integrar las áreas que por su diversidad y características ecológicas se consideren de especial importancia en el país. El SIGAP constituye un reconocimiento de que el área natural protegida está cumpliendo con los objetivos para los cuales fue creada y por lo tanto está contribuyendo a conservar la biodiversidad a nivel nacional (Ariano 2004). Al momento no se ha evaluado la eficiencia del SIGAP en la protección de los ecosistemas naturales, sino solamente su representatividad con relación a algunos aspectos de la variedad del territorio nacional (Ariano 2004; CONAP 2010). Evaluar de manera adecuada los resultados de los decretos y el trabajo del personal en la conservación de las APs requiere de varios años. Si bien el SIGAP es muy importante, hasta ahora no se ha evaluado científicamente cómo este sistema garantiza el resguardo a largo plazo de una porción representativa y viable del patrimonio biológico.

Las APs constituyen un instrumento de política ambiental para la conservación y apoyo al desarrollo sustentable del país. Evaluar su contribución a la conservación y mantenimiento de la biodiversidad desde su creación y su evolución en el tiempo, es un aspecto prioritario en la agenda del ordenamiento

ecológico regional. Por lo general, las APs han sido establecidas para asegurar la representación y/o protección de ecosistemas, paisajes, hábitat, especies y poblaciones de forma inmediata. Sin embargo, se ha puesto poca atención al potencial que tienen éstas para el mantenimiento de muestras representativas de biodiversidad a largo plazo (Gaston *et al.* 2006). Cabeza & otros autores (2003), señalan que en el diseño de las reservas uno de los objetivos deberá ser maximizar el número de especies a conservar en un mínimo de terreno “sacrificado”, o más aún satisfacer los requerimientos básicos de conservación, en este mínimo de terreno. El diseño efectivo de las reservas naturales requiere un conocimiento cuidadoso de la historia natural de las especies importantes e información sobre la distribución de las comunidades biológicas. Además se deben conocer los requerimientos de alimentación, comportamiento, nidificación, patrones de movimiento diario y estacional, depredadores y competidores potenciales, así como la susceptibilidad a enfermedades y plagas. El estudio de estos factores son la base para determinar una estrategia de conservación efectiva dentro de las reservas naturales, diseñadas para satisfacer los requerimientos de hábitat de tantas especies como sean posible (Rozzi *et al.* 2001).

Leader-Williams & otros autores (1990) mencionan que los criterios socioeconómicos y paisajísticos predominan usualmente en la decisión de la localización de dichas áreas, en lugar de los criterios científicos, lo que ha llevado a la selección de sitios no representativos y con valores muy bajos para la conservación. En el mismo sentido, el tamaño y la ubicación de las APs se determinan generalmente de acuerdo con la distribución de las poblaciones humanas, el valor potencial de la tierra, los factores históricos y los esfuerzos políticos de los grupos conservacionistas. En muchos casos las tierras se asignan para protección y conservación debido a que no tienen valor comercial inmediato, es decir, se trata de las tierras que nadie quiere. Diferentes análisis realizados (Breceda *et al.* 2005; Shi *et al.* 2005) consideran que en la selección de áreas prioritarias para conservación no sólo se deben tomar en cuenta aspectos biológicos, sino también criterios sociales, financieros y administrativos, definiendo

además las amenazas y problemas relacionadas con el manejo y administración de estos espacios protegidos (Pressey *et al.* 1993; CONAP 1999; Scott *et al.* 2001).

Por otra parte, se ha dado un debate intenso en cuanto al tamaño de las AP's, basados en el dilema sobre si la máxima riqueza de especies debe cubrirse en una reserva natural grande o en varias reservas pequeñas con la misma extensión de superficie (Simberloff & Abele 1982; Soulé & Simberloff 1986; Rozzi *et al.* 2001). Quienes apoyan las reservas grandes argumentan que éstas minimizan los efectos de borde, tienen más especies y mayor diversidad de hábitat que las pequeñas. Además se argumenta que las reservas pequeñas no son necesarias debido a su incapacidad para mantener poblaciones en el largo plazo, lo cual les asigna escaso valor para propósitos de conservación. Los argumentos que justifican esto establecen que muchas de las reservas están bloqueadas a la inmigración y en tales casos es preferible una gran reserva, pues en ésta las tasas de extinción serán menores que en otras más pequeñas (Wright & Hubell 1983). Los partidarios de las reservas pequeñas señalan que si éstas están bien ubicadas pueden incluir gran variedad de tipos de hábitat y más poblaciones de especies raras que una reserva grande en la misma área (Simberloff & Gotelli 1984; Rozzi *et al.* 2001). La creación de múltiples reservas, incluso pequeñas, disminuye también la probabilidad de catástrofes, tales como especies invasoras, plagas o incendios que podrían destruir poblaciones completas de una especie que se localicen en una única reserva grande.

Rodríguez y otros autores (2003) señalan que la distribución restringida de las especies evita que sean protegidas de manera efectiva, si las APs están dispersas. Wilson & Willis (1975), consideran que como el número de especies en un área dada está determinado por el equilibrio entre inmigración y extinción, y que la riqueza específica se incrementa al aumentar la superficie y su cercanía a los lugares de repoblamiento, se ha propuesto que las reservas deben ser tan grandes como sea posible, encontrarse entre sí tan cerca como se pueda, tratar de que sean de forma redonda y sin penínsulas y estar conectadas para facilitar el intercambio de especies. El consenso actual señala que el tamaño ideal de la

reserva depende de los grupos de organismos en consideración y otras circunstancias ecológicas e históricas (Soulé & Simberloff 1986). En general, se acepta que las reservas grandes son más apropiadas para mantener muchas especies debido al mayor tamaño de las poblaciones y mayor variedad de hábitat. Sin embargo las reservas naturales pequeñas bien manejadas son valiosas, particularmente para la protección de muchas especies de plantas, invertebrados y pequeños vertebrados. Por lo que se debe aceptar el manejo de especies en reservas pequeñas cuando el terreno circundante no está disponible para propósitos de conservación (Rozzi *et al.* 2001).

Por otro lado existe controversia sobre el porcentaje de superficie que se debe destinar a la conservación. En 1987 la Comisión Brundtland recomendó que todas las naciones deberían destinar al menos 12% de su territorio a las tareas de conservación (Trisurat 2007), mientras que la Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza (UICN) en 2003 estableció que el 10% del territorio debiera ser destinado para la conservación de la naturaleza. Actualmente la red mundial de APs sobrepasa la meta propuesta del 10%, ocupando más del 12% de la superficie terrestre (Rodrigues *et al.* 2004a). Sin embargo más de la mitad de esta extensión no está incluida en las categorías de la UICN y no fue designada en un principio específicamente para la conservación de la biodiversidad (Gaston *et al.* 2006). Gaston & otros autores (2006), menciona que las estrategias globales de conservación basados en la recomendación del 10% (u otras metas similares) de cada país o bioma, no serán efectivos porque estos son ciegos o no consideran que la biodiversidad no se distribuye de manera uniforme en el planeta. Soulé & Sanjayan, (1998); Pressey & otros autores, (2003) señalan que objetivos de conservación basados en el porcentaje de APs (excepto el 100%) no deben ser utilizados para distinguir entre regiones suficientemente protegidas y aquellas con necesidades adicionales de protección. Por lo que, las regiones con necesidades para expandir o incrementar su sistema de APs no serán necesariamente aquellas con bajos porcentajes de superficie bajo protección, sino aquellas con altos niveles de endemismo (Rodrigues *et al.* 2004b). Asimismo, las naciones o ecosistemas con una alta diversidad y/o riqueza biológica como lo son las zonas tropicales

requerirán de porciones de terreno o áreas a conservar más grandes. El porcentaje mínimo de área que deberá ser reservada o protegida para representar todas las especies de una región es altamente variable y dependerá de la diversidad y el endemismo de los taxa que se busque proteger (Rodrigues & Gaston 2001).

3.1 La creación de APs en Guatemala

A nivel mundial, la creación de APs ha seguido un patrón diferente y ha respondido a diferentes necesidades de conservación y/o recreación de la población local. Históricamente, las motivaciones han variado; en el pasado se crearon parques nacionales por su valor escénico o histórico, o reservas forestales por el valor económico potencial de los bosques. De esta forma no siempre se han establecido APs en lugares biológicamente estratégicos, sino más bien en los sitios donde se han presentado mejores oportunidades para crear un área natural protegida, lo cual puede considerarse como una estrategia de conservación política y no biológica (Elbers 2011).

La primera AP de Guatemala, el Parque Nacional Tikal, fue declarada hace más de 55 años, en 1955. Sin embargo fue hasta el 10 de febrero de 1989, que fue creado el Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP–, entidad pública responsable de la administración de áreas legalmente protegidas (Decreto 4-89, Gobierno de Guatemala). La cual tiene como objetivo asegurar la conservación de niveles socialmente deseables de biodiversidad y la generación de servicios ambientales, para el desarrollo social y económico sostenible de Guatemala y el beneficio de las presentes y futuras generaciones. Actualmente Guatemala cuenta con más de 240 APs decretadas bajo distintas categorías de manejo, constituyendo el 32 % del territorio nacional (3,488,714 ha aproximadamente; MARN-URL/IARNA-PNUMA 2009; CONAP 2010).

Según la UICN la superficie mínima para garantizar la conservación de los ecosistemas son mil hectáreas. Del total de 210 APs analizadas a principios del siglo XXI en nuestro país, solo 15 alcanzan las mil hectáreas (Ariano 2004), y muchas de ellas han perdido parte de su vegetación original.

Hasta los años noventa, las APs de nuestro país carecían casi en su totalidad de programas de manejo, de personal y de presupuesto suficiente. El único instrumento para proteger estas áreas era el decreto de su establecimiento, que aunque indispensables, son insuficientes para proteger sus recursos naturales. Por lo que, estas áreas se habían mantenido ajenas a la dinámica del desarrollo regional, desaprovechándose su enorme potencial para integrar nuevos espacios legales, institucionales y operativos para un desenvolvimiento económico sostenible. Actualmente los avances han sido mínimos, ya que solo 39 de las APs que integran el SIGAP cuentan con Plan Maestro vigente o en proceso de actualización; mientras que en 29 APs los Planes Maestro están en proceso de aprobación o elaboración. Además 4 de 26 de las Áreas de Protección Especial (APE) son APs bajo manejo que no han sido legalmente declaradas, o su declaratoria no está contenida en alguna ley; quedando 148 APs sin Plan Maestro elaborado (Ariano 2004; CONAP 2010).

3.2 Representatividad

En la actualidad se han desarrollado métodos con criterios científicos para desarrollar y facilitar el diseño de reservas basándose principalmente en la identificación de áreas ricas en biodiversidad (“Hotspots”). Uno de ellos es el análisis de la representatividad, el cual debe ser utilizado como un elemento rector en la selección y priorización del conjunto de áreas a ser protegidas, mismas que deberán contener el conjunto más completo posible de ecosistemas y especies de interés (Hauffer *et al.* 1999; Trisurat 2007; Hazen & Anthamatten 2004).

Si el objetivo de la conservación es la representatividad de las especies, entonces la expansión del sistema global de APs debe considerar los patrones de distribución de la biodiversidad en lugar de basarse en el porcentaje de objetos, conformados en gran parte por consideraciones políticas y de factibilidad (Rodríguez *et al.* 2004a). A menudo el paisaje contiene grandes extensiones de tipo de hábitat uniforme y sólo pequeñas áreas de tipos de hábitat raros. En este caso, la protección de la diversidad biológica probablemente no dependerá tanto

de la preservación de grandes áreas del tipo común de hábitat, sino de la inclusión de áreas representativas de todos los tipos de hábitat en un sistema de APs (Armesto y Smith-Ramírez 2001). Sin embargo en la actualidad CONAP considera que la mayoría de las principales zonas de vida del país están representadas dentro de los límites de las APs, siendo los bosques húmedos subtropicales húmedos cálidos (7.1%), los bosques pluviales montanos bajos (4.8%) y los bosques muy húmedos tropicales (2.4%) los que ocupan la mayor proporción (CONAP 2010).

En el caso de los vertebrados endémicos, no todos los grupos tienen una protección asegurada con el actual sistema de APs. En el ámbito nacional se desconoce la representatividad de las especies endémicas (MARN-URL/IARNA-PNUMA 2009; CONAP 2010).

3.3 Complementariedad

Otro análisis que se debe tomar en cuenta para diseñar sistemas que contemplen áreas con altos valores de diversidad es el de complementariedad. Cuando los datos sobre distribución de todas las especies dentro de una región están disponibles, se pueden seleccionar áreas para conservación, buscando que se complementen unas con otras, asegurando en términos de composición la inclusión y protección del mayor número posible de especies (Rodríguez *et al.* 2004a). Justus & Sarkar (2002) mencionan que el principio de complementariedad en la actualidad condujo a un cambio fundamental en el diseño de APs. Contrario al principio de riqueza de especies usado en el pasado para la selección de lugares para decretar espacios protegidos, el cual condujo a la representación ineficiente de un gran número de especies en el sistema de reservas. A diferencia de otros métodos el análisis de complementariedad garantiza que todas las especies endémicas estén representadas en las áreas geográficas como prioritarias para conservación (Sánchez-Cordero *et al.* 2005). Un área bien representada y complementada, tendrá la resistencia ecológica que le permita recobrase en caso de que las condiciones ambientales cambien y ocasione la pérdida de especies, o sea su legado biológico. Los métodos usados para la

selección y manejo de sistemas o áreas para la conservación, basados en el principio de complementariedad posibilitan la integración de consideraciones políticas y biológicas. En el entendido que los recursos disponibles para estos propósitos son limitados y deben ser usados de una manera eficiente buscando el mayor beneficio posible para la biodiversidad que se trata de proteger (Pressey & Nicholls 1989; Pressey *et al.* 1993, en Rodrigues & Gaston 2001). Considerando lo anterior, los profesionales de la conservación necesitan revisar si algunos grupos de especies son útiles para ser usados como guías para seleccionar el mejor manejo en una red de áreas en la cual cada una de éstas se complementen en la representatividad de especies.

3.4 Análisis de vacíos de conservación (AVC) en el SIGAP

Un método ampliamente usado para definir áreas prioritarias para conservación es el análisis de correspondencia (*Gap* Análisis, Sánchez-Cordero *et al.* 2005). Este método considera en primera instancia el área de distribución de una especie delimitada principalmente por las localidades marginales de colecta. Con base en esta información se elabora un mapa base, el cual se sobrepone a un mapa de hábitat que cubre la totalidad de la distribución de la especie. Enseguida se elabora un modelo de correspondencia entre el mapa base y el de hábitat, en función de las preferencias de hábitat que muestre la(s) especie(s). El mapa resultante elimina todos los hábitats no “adecuados” para la(s) especie(s) y asume que en éstos la especie está ausente. Con base en esto se identifica las regiones donde coincide la mayor riqueza de especies y/o especies endémicas (Sánchez-Cordero *et al.* 2005).

Este contraste permite identificar vacíos en la preservación de la biodiversidad que necesitan designarse como nuevas APs. A escala nacional, el objetivo es proteger ejemplos representativos de todas las comunidades biológicas del país. Específicamente, este instrumento posibilita (1) la revisión, identificación y creación de marcos de referencia para redireccionar o establecer prioridades de inclusión de aquellas áreas que deban ser reconsideradas o definidas como prioritarias para la conservación, dado su importancia biológica por la presencia de

especies endémicas, raras, amenazadas o en peligro de extinción; (2) por la presencia de comunidades tanto de flora y fauna no incluidas en algún estatus de conservación y que reciben poca protección, y que si bien, no definen el estatus de conservación del área en general, si ayudan a complementar la riqueza cuantitativa incorporando muestras representativas; (3) favorecen la conexión y el movimiento entre las reservas y aseguran además tener completo los aspectos que determinan la variabilidad ambiental del área, expresado por los diferentes tipos de vegetación, definiendo de esta manera el máximo de representatividad en el conjunto de APs (Trisurat 2007).

Otra contribución significativa del AVC es el proveer, con una visión extensiva a nivel regional, sobre la representatividad de elementos, lo cual facilita a los administradores evaluar dentro de un contexto más amplio su papel en la administración y responsabilidad sobre los elementos presentes. En otras palabras, más que basar sus decisiones en observaciones y condiciones locales, los administradores pueden considerar la condición de un elemento en el contexto de una región geográfica mayor (país o ecorregión) o a través de todo el ámbito de distribución que sea mapeado para dicho elemento.

La necesidad de identificar "omisiones" ("*gaps*") de conservación surge, no sólo para registrar el proceso natural de evolución y extinción, sino más bien para evaluar efectos recientes y progresivos de perturbación humana al medio ambiente y que amenazan la biodiversidad que se quiere proteger (Crist 1997). Por lo tanto, el AVC es uno de los instrumentos que más se usan para evaluar la efectividad de las APs, ya que permite determinar de manera sistemática el grado en el cual diferentes tipos nativos de vegetación y especies animales están representadas en las áreas designadas para su conservación, sean éstas terrestres o acuáticas (Trisurat 2007).

3.5 La efectividad ecológica de las APs

A pesar de las dudas sobre la eficiencia de las APs para conservar la biodiversidad biológica, análisis recientes de zonas protegidas en distintas partes del mundo muestran que la mayoría detienen, en cierto grado, el avance de la

deforestación y disminuyen la presión sobre las poblaciones de flora y fauna silvestres (Elbers 2011). El aspecto clave de la efectividad ecológica de una red de APs es qué tanto representa el rango completo de muestras de una característica en particular a través de una región o a nivel nacional (Gaston *et al.* 2006). De este modo, en vez de asumir que las especies deben de reajustar sus rangos de distribución, el manejo de la biodiversidad deberá ser un proceso adaptativo y frecuente en el cual nuevos sitios deberán ser adicionados o incorporados a la red de áreas de conservación, tanto sea necesario si así lo sugieren los resultados del plan de monitoreo (Fuller *et al.* 2007).

La efectividad ecológica de las APs se puede determinar midiendo la condición o persistencia concerniente al estado de conservación de la biodiversidad dentro de las APs, a través de diferentes aspectos como la viabilidad de los niveles observados, la ocurrencia de especies, o bien la condición del hábitat o tipo de vegetación. En el futuro, para cumplir con su función de conservar y mantener la biodiversidad las APs deberán considerar dos aspectos principales: 1) incluir o representar la biodiversidad a proteger al interior de sus límites; y 2) fungir como amortiguador (“*buffer*”) contra los procesos que amenazan su persistencia a través del tiempo (Margules & Pressey 2000).

4. Justificación

Es un hecho que las APs tienen problemas para funcionar, pero dado que presentan ecosistemas con mayor grado de naturalidad, en parte debido a su inaccesibilidad, son por el momento la opción más viable para las tareas de protección de los ecosistemas, especies y servicios ambientales (Flores y Gerez 1988; Elbers 2011). Además representan una vía para el establecimiento de centros de desarrollo social en las áreas rurales, ya que son utilizadas por las comunidades humanas en las zonas de influencia. Sin embargo, hasta ahora no se ha realizado ninguna investigación que evidencie el papel del SIGAP en la conservación de las especies de vertebrados endémicos de la región. Más aún, no se han evaluado los patrones biogeográficos de endemismo de vertebrados en Guatemala.

La importancia de contar con resultados útiles en la identificación de especies endémicas regionales, sus patrones de riqueza y distribución y su representatividad dentro del SIGAP hacen de este análisis un instrumento imprescindible para la toma de decisiones. Permitiendo obtener un cuadro general de la conservación *en situ* de la biodiversidad, además de identificar estrategias donde es necesaria la inversión de recursos financieros y humanos, estableciendo esfuerzos de investigación para el manejo correcto del SIGAP a través un fundamento científico.

Los resultados de este análisis proveen de criterios bajo los cuales la administración de las APs puede modificar y afinar su dirección, planificación y enfocar las actividades de manejo en una forma eficiente en la conservación de las especies endémicas más vulnerables. Esto promueve que los esfuerzos de manejo sean mejorados basados en los resultados de evaluaciones anteriores, no necesariamente con criterios biológicos, es decir, que complementa las calificaciones de otros indicadores, lo que significará que las APs se estarán consolidando. Asimismo, la política de desarrollo del SIGAP contempla dentro de sus principios fundamentales, el monitoreo y manejo de información estratégica como elemento clave para la evaluación, control y promoción de recursos, productos y procesos conservacionistas, así como la retroalimentación de las

políticas en este campo. Dentro de las líneas estratégicas de la política de desarrollo del SIGAP se contempla el aumento de la disponibilidad de información y conocimiento sobre el patrimonio natural y cultural de la nación (CONAP 2010).

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Determinar la efectividad ecológica de las áreas protegidas terrestres del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), en la conservación y mantenimiento de la representatividad de los vertebrados endémicos regionales.

5.2 Objetivos específicos

5.2.1 Analizar conforme localización, tamaño, forma y categoría decretada, la efectividad en la conservación y mantenimiento de la representatividad de los ecosistemas, hábitat y especies de vertebrados endémicos regionales.

5.2.2 Analizar el nivel de complementariedad de ecosistemas, hábitat y vertebrados endémicos de las APs de Guatemala.

5.2.3 Identificar las especies de vertebrados endémicos presentes en las APs, en relación a aquellas no circunscritas a éstas áreas en Guatemala.

5.2.4 Describir los patrones de diversidad y biogeografía de las especies de vertebrados terrestres endémicos regionales.

6. Metodología

6.1 Área de estudio

La región de estudio se circunscribió dentro de un polígono rectangular contenido entre las coordenadas -95.00° , -87.00° Latitud, 21.00° y 13.00° Longitud (figura 1) y a las Áreas Legalmente Protegidas terrestres de la República de Guatemala, lo que equivale a 32% del territorio nacional (figura 2). Las cuales están administradas por el CONAP, en conjunto con Organizaciones No Gubernamentales (ONGs), el Ministerio de Cultura y Deportes (MICUDE), la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) a través del Centro de Estudios Conservacionista (CECON), el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y municipalidades. Existen también más de 100 APs privadas (CONAP 2007) y en proceso de declaración, las cuales también fueran incluidas.

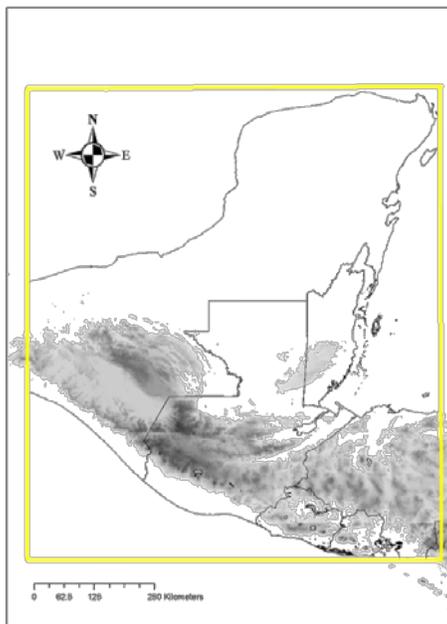


Figura 1. Topografía y delimitación del área geográfica a la cual se circunscribe el estudio, denominada “Mesoamérica Norte”.

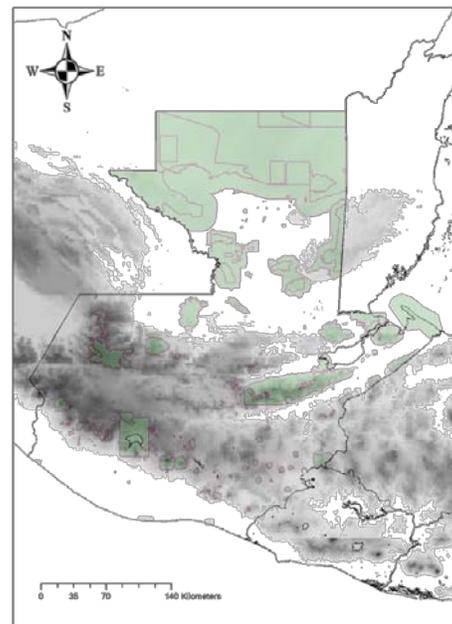


Figura 2. Extensión y localización geográfica del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas.

(Fuente: CONAP 2011).

6.2 Consideraciones metodológicas puntuales

Para establecer la funcionalidad y la efectividad en el cumplimiento de los objetivos para lo cual fueron decretadas las APs abordadas en este estudio, se consideraron los siguientes niveles de análisis:

- i. La endemidad se consideró según el criterio utilizado por Riemann & Ezcurra (2005), la cual está definida como la superficie que ocupan las especies en la zona de estudio, micro endémicas, mesoendémicas, endémica regional. Estas últimas son las que se utilizaron para el análisis en este estudio.
- ii. Las fuentes primarias para la obtención de la distribución de las especies fueron: literatura, colecciones científicas y bases de datos a nivel global a través de consultas a servidores en línea especializados.
- iii. Caracterización de las regiones, análisis espacial e identificación de las APs.
- iv. Una vez obtenida la información se utilizaron mapas topográficos, donde se ubicaron todos los polígonos de distribución potencial (taxa y localidad).
- v. Las especies que no se pudieron ubicar con referencia geográfica no fueron incorporadas a la base de datos.
- vi. La base de datos georeferenciada fue transferida a un SIG. Todos los puntos repetidos no fueron considerados en los análisis.

6.3 Uso de SIG

Se trabajó en la creación de mapas temáticos: topografía, paisaje, cobertura vegetal, asentamientos humanos, cuencas, vías de comunicación, distribución de especies, áreas críticas, entre otros. Esto con el fin de crear un SIG donde se aprecien proyecciones con diferentes escenarios. Para integrar los puntos georeferenciados al SIG, se procedió de la siguiente forma:

- i. Se elaboró una base de datos de los polígonos de distribución potencial, para generar un mapa de distribuciones de especies endémicas.
- ii. La información de variables abióticas y bióticas se obtuvo directamente de los mapas de capas digitales disponibles en múltiples portales digitales.

- iii. Se recopiló información sobre las ecorregiones de World Wildlife Fund –WWF– del país (Olson, *et al.* 2004), esto permitió construir los modelos de correspondencia de hábitat.
- iv. Para la obtención de la representatividad, se trabajó con las listas de diferentes especies endémicas de vertebrados terrestres protegidas y no protegidas (presentes al interior o no de las APs de Guatemala) realizando un análisis de vacíos de conservación (*gap* análisis).
- v. Para esto se hizo una sobreposición del mapa de áreas de distribución potencial, APs, y ecorregiones. El mapa resultante de esta sobreposición nos permitió identificar las áreas con vacíos de conservación o regiones ricas en especies endémicas no protegidas (Riemann & Ezcurra 2005).
- vi. Además la sobreposición de las áreas de distribución potencial con la cartografía de las variables abióticas y bióticas muestra una matriz de presencia y ausencia de especies buscando establecer o determinar cuáles variables bióticas y abióticas son las más importantes e influyentes en la distribución geográfica de las especies (Illoild *et al.* 2002).

6.4 Análisis de la información

6.4.1 Recopilación de información de distribución potencial

i. Fuentes

La información de distribución geográfica de los taxa seleccionados (Mamíferos, Reptiles, Anfibios y Aves) fue obtenida de dos fuentes principales: 1) The 2010 IUCN Red List of Threatened Species (UICN 2011). Esta colección de datos espaciales contiene información completa de anfibios, mamíferos y para la mayoría de reptiles. Estos datos están disponibles al público a través del portal de UICN (<http://www.iucnredlist.org>). 2) Los datos de aves fueron obtenidos de dos fuentes, BirdLife's globally threatened species range maps (BirdLife International, 2011)(<http://www.birdlife.org>) y Digital Distribution Maps of the Birds of the Western Hemisphere (Ridgely *et al.* 2007) (<http://www.natureserve.org>) para las especies no amenazadas, ambas fuentes son colaboradores directos de UICN por lo que siguen los mismos formatos y categorías taxonómicas.

Los datos son provistos en archivos *shape*, el formato nativo de ESRI y contienen el rango de distribución conocido de cada especie. Los rangos se presentan como polígonos. Los archivos DBF que acompañan cada polígono contienen información taxonómica, estatus de distribución, fuentes y otros detalles acerca de los mapas. Cada especie está identificada con su género y epíteto específico reconocido por UICN.

ii. Selección de especies endémicas

Las especies endémicas regionales se seleccionaron en base a la extensión de su distribución geográfica, considerándose como **endémicas regionales** a aquellas especies que se distribuyen sin sobrepasar los límites entre el istmo de Tehuantepec (Long -94.563939°) al oeste y el golfo de Fonseca (Long -87.781635°). Aunque estos límites son arbitrarios, se considera que engloba una región biológicamente afín, denominada por algunos autores como Mesoamérica Nuclear (Shuster 1992) o Mesoamérica Norte.

iii. Base de datos de las especies

Adicionalmente a la información geográfica obtenida de UICN, BirdLife International y NatureServe, también se recopiló información taxonómica y de estado de conservación de las especies endémicas regionales. Esta información se analizó a través de gráficos, describiendo las principales tendencias en cuanto a estatus dentro de la Lista Roja de UICN, tendencia actual de las poblaciones y diversidad por taxón.

6.4.2 Edición de capas digitales

La información geográfica obtenida de UICN, BirdLife International y NatureServe, son provistos en el formato nativo de ESRI (*shape*) y contienen los polígonos de distribución conocido de cada especie para cada taxón. Se extrajo únicamente los polígonos de las especies endémicas, y por otro lado también los polígonos de todas las especies presentes en la región. Estos archivos fueron convertidos a formato IDRISI *Raster* para ser analizados posteriormente.

Adicionalmente para los análisis de diversidad se crearon capas digitales complementarias de la región.

6.4.3 Recopilación de la información de cobertura forestal y SIGAP

Se obtuvo el mapa base de cobertura forestal del año 2006, derivado del proyecto “Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2006 y dinámica de la cobertura forestal 2001-2006” (Castellanos *et al.* 2011). Del cual se extrajo las áreas con diferentes coberturas vegetales dentro de todo el territorio nacional donde se identificaron zonas con ecosistemas naturales y modificados.

Además se recopiló y editó una capa digital conteniendo los polígonos de las APs, tanto estatales como privadas reconocidas dentro del SIGAP. Esta información se obtuvo directamente del Departamento de Unidades de Conservación del CONAP. Además se le adicionaron polígonos de APs propuestas, las cuales están pendientes de aprobar.

6.5 Análisis de diversidad

6.5.1 Medidas de diversidad

Se aplicaron tres niveles de diversidad:

La diversidad Alfa (α) es la medida más simple de diversidad, a menudo se le refiere como Riqueza de especies. Esta se refiere a la diversidad de una localidad (e.g. pixeles, ecosistemas) y expresa el número de especies totales en dicha localidad.

La diversidad Gamma (γ) mide la riqueza regional al calcular la diversidad total sobre una región grande o a través de ecosistemas.

La diversidad Beta (β) mide el cambio en diversidad de especies entre localidades (e.g. ecosistemas). Esta diversidad es referida como recambio de especies a medida que se mueve de una región a otra. Beta es calculada con el índice de Whittaker:

$$\beta\omega = \frac{\gamma}{\alpha}$$

El índice de disimilitud de Bray-Curtis es una medida de la disimilitud de la composición de especies. Esta es medida como:

$$BC_{ij} = 1 - QS_{ij}$$

Donde QS es el índice de Sorensen:

$$QS_{ij} = \frac{2C}{A+B}$$

Donde, A y B son el número de especies en las muestras A y B, mientras que C es el número de especies compartidas entre ambos. Este índice va de 0 a 1, donde 0 significa que las localidades tienen la misma composición (comparten todas sus especies) y 1 que los sitios no comparten ninguna especie. En este caso específico se calcula QS como el número de especies comunes entre el pixel y la región a la cual pertenece dividido por el alfa promedio dentro de la región.

El índice de Rango de Restricción está basado en la comparación del área en el cual se encuentra la especie relativa a la región de estudio completa. Este índice va de 0 a 1, donde valores más altos indican que la mayoría de las especies presentes en una localidad poseen rangos restringidos. Este índice puede ser comparable a un nivel de endemismo. La fórmula utilizada para este índice es:

$$RRI = \frac{\sum_{i=1}^n \left(1 - \left(\frac{\text{área de rango}}{\text{área total}} \right) \right)^2}{(n)}$$

Todos estos índices se calcularon directamente en un entorno SIG, utilizando como base los polígonos de distribución de cada una de las especies a través del módulo *Land Change Modeler* implementado en el software IDRISI Taiga (Clark Labs. 2010). Los cálculos se realizaron por taxón y en conjunto de especies endémicas.

6.6 Análisis de complementariedad

El análisis de complementariedad se llevo a cabo a través de procedimientos de optimización, estableciendo que el proceso de selección de áreas garantiza que cada nueva selección dé la mayor ganancia posible en términos de especies

no representadas en las áreas ya seleccionadas (Justus & Sarkar 2002). De tal cuenta, se hizo un comparativo de las especies incluidas dentro del SIGAP para conocer el nivel de complementariedad de las APs en el país. El análisis se efectuó construyendo curvas de acumulación de las especies con distribución dentro de cada una de las APs, identificando la cantidad mínima de APs que son necesarias para conservar porcentajes determinados de biodiversidad. Este análisis permite identificar la diversidad biológica máxima en un número mínimo de áreas, lo que es un requisito fundamental para la conservación (Scott 1997; Ceballos 2007; Traba *et al.* 2007). La curva de rarefacción se construyó utilizando el software EstimateS versión 8.2.0 (Copyright R. Colwell).

6.7 Análisis de representatividad

6.7.1 Identificación de áreas de alto valor de diversidad

Los datos sobre diversidad biológica generados para cada uno de los grupos taxonómicos, permitió identificar áreas geográficas con altos valores de biodiversidad. Estos *Hot spots* fueron identificados en base a diversidad alfa, gamma y rango de restricción.

6.7.2 Representatividad dentro del SIGAP

La información sobre los sitios con altos valores de diversidad se contrastó con los polígonos de las APs presentes en el país, identificando áreas de gran importancia cubiertas y no cubiertas por el SIGAP.

6.8 Análisis *gap*

6.8.1 Identificación Especies *gap*

La identificación de las especies *gap*, es decir, especies endémicas que no presentan distribución potencial en ninguna de las áreas del SIGAP, se realizó por medio de un análisis polígono en polígono implementado en el software Hawth's Analysis Tools versión 3.27 para ArcGis. En dicho análisis se identificaron las especies que coinciden o no con los límites decretados dentro de cada AP.

6.8.2 Cobertura de distribución vs. SIGAP

Se identificaron las APs que cubren la distribución de cada una de las especies endémicas seleccionadas dentro del estudio. Este proceso se realizó a través de un análisis polígono en polígono implementado en el software Hawth's Analysis Tools versión 3.27 para ArcGis.

6.8.3 Porcentaje de protección

Utilizando las áreas de cada polígono de distribución se calculo el porcentaje de protección dentro del SIGAP para cada una de las especies endémicas seleccionadas dentro del estudio. Este porcentaje de protección se define como el área de distribución potencial de cada especie que se encuentra representado dentro del SIGAP.

6.9 Análisis de las variables predictoras de la biodiversidad

Para identificar las variables que mejor describen la distribución de la riqueza de las especies endémicas estudiadas, se utilizaron 19 variables bioclimáticas de la base de datos de WORLDCLIM. Además se utilizaron dos variables topográficas que describen el relieve del terreno, la primera indica la pendiente (SLOPE), mientras que la segunda es un índice de la rugosidad (TOPO). Con estas variables ambientales y con la riqueza de especies endémicas regionales se construyó un modelo lineal generalizado, utilizando el software estadístico R versión 2.9.1 (*The R Foundation for Statistical Computing, 2009*).

6.10 Regionalización faunística de Guatemala

Los modelos de distribución potencial fueron examinados con la técnica de análisis de parsimonia de endemismos (PAE; Rosen 1988). El análisis PAE fue originalmente propuesto por Rosen (1988) y posteriormente modificado por Cracraft (1991) y Morrone (1994), en este se clasifican las áreas (análogas a taxa) por sus taxa compartidos (análogo a caracteres) de acuerdo al cladograma mas parsimonioso. El PAE consiste en matrices de áreas por taxa y los cladogramas resultantes representan grupos anidados de áreas (Morrone & Crisci 1995). Las

especies están codificadas por presencia (1) o ausencia (0) en cada área de la matriz de datos. Los análisis cladísticos fueron realizados con el Software TNT (*Tree analysis using New Technology*), donde se ejecutó el script *aquickie* el cual busca el árbol mas parsimonioso dentro de todas la posibilidades, luego calcula el soporte de los grupos por medio de remuestreo (Goloboff *et. al.* 2008). Los cladogramas son enraizados con un área hipotética codificada completamente con ceros.

7. Presentación de resultados

7.1 Recopilación de información de distribución potencial

En base a las fuentes consultadas se obtuvo el listado de las especies endémicas distribuidas en Guatemala para los grupos taxonómicos de interés dentro del estudio. En total se identificaron 169 especies endémicas, reportando 24 especies de mamíferos, 28 especies de aves, 48 especies de reptiles y 69 especies de anfibios (anexo 1). Para cada grupo se obtuvo información sobre el estatus y tendencia de las poblaciones y el estatus de cada una de las especies dentro de la Lista Roja establecida por la UICN (figura 3).

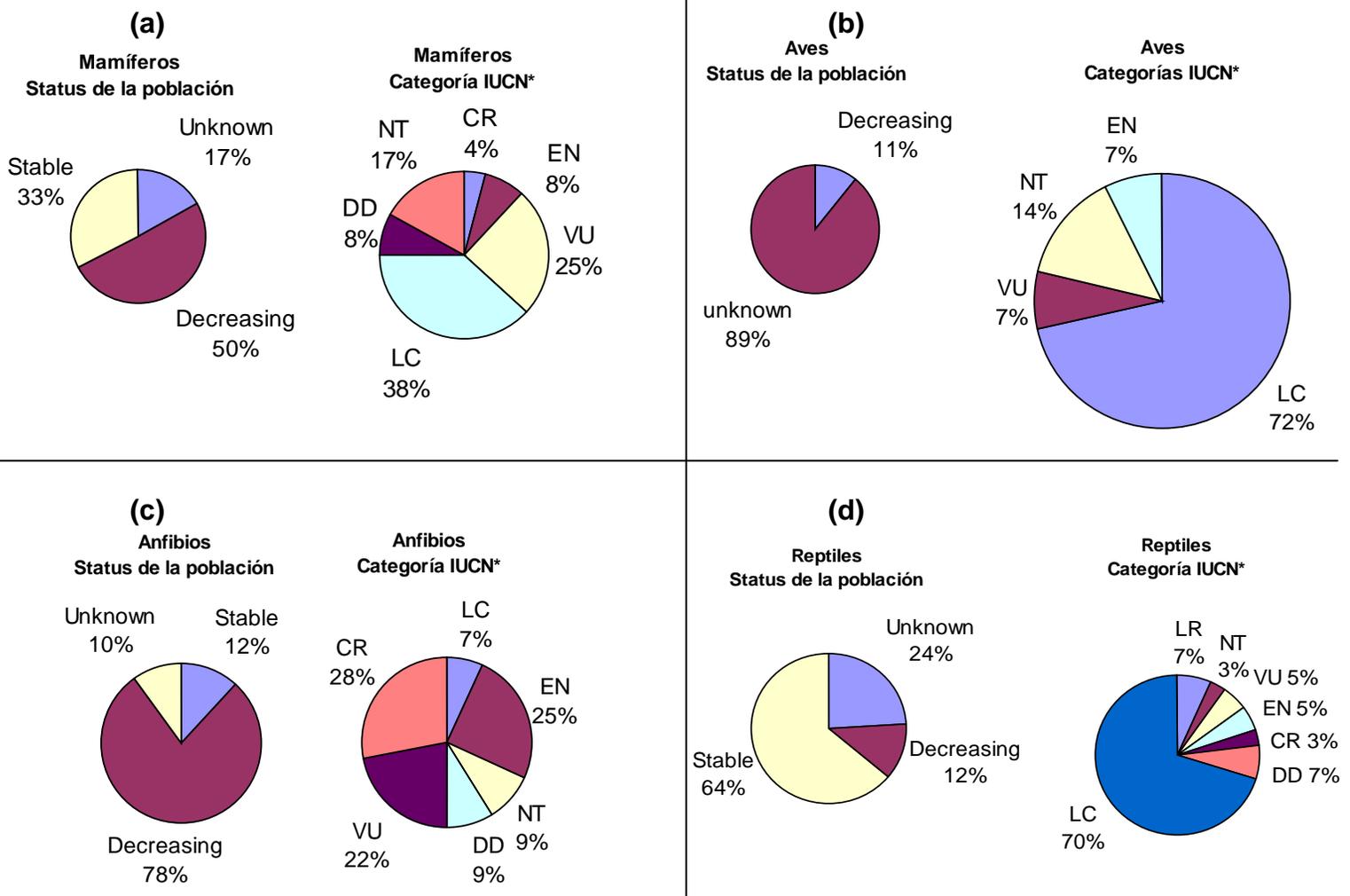


Figura No. 3. Tendencia y estatus de las poblaciones y especies endémicas con distribución en Guatemala. (a) Mamíferos, (b) aves, (c) anfibios (d) reptiles.

*CR: en peligro crítico; EN: en peligro; VU: vulnerables; LC: menor importancia; DD: Datos insuficientes; NT: casi amenazado; LR: riesgo bajo.

7.2 Recopilación de la información de cobertura forestal y SIGAP

Dentro de la fase de recopilación de información, se obtuvo el mapa base sobre la cobertura forestal en Guatemala para el año 2006 (dato más actualizado), obteniendo las áreas con diferentes coberturas vegetales en el país (anexo 2). Además se obtuvo la información digital más actualizada sobre el SIGAP, integrada por 297 APs decretadas en Guatemala para diciembre del año 2010 (anexo 3).

7.3 Análisis de diversidad

Se obtuvieron mapas sobre la distribución de diversidad alfa, beta y gamma de cada uno de los grupos taxonómicos de interés dentro del proyecto.

7.3.1 Medidas de diversidad

i. Diversidad Alfa

Para los mamíferos, las regiones de mayor riqueza de especies, o *hot spots*, se encuentran al norte del occidente guatemalteco, en los departamentos de Huehuetenango y Quiché, y algunas áreas del altiplano, en Alta Verapaz y Baja Verapaz; también están representadas como áreas de alta diversidad alfa regiones en los departamentos de San Marcos (colindantes con la frontera mexicana) y Quetzaltenango (figura 4). Además, hay otra área que se encuentra al norte y noreste del departamento de Petén, colindante con Belice. Cabe mencionar que El Quiché, es el departamento con más vacíos de información con respecto a biodiversidad en nuestro país (M. García, com. pers.), por lo que corroborar este resultado con datos de campo sería especialmente importante.

Por otra parte, para las aves, existe una alta concentración de especies que recorren las Tierras Altas (Eisermann y Avendaño 2006) que van desde todo el occidente del país, pasando por la región central, el altiplano, y llegando a algunos departamentos del oriente, tales como Santa Rosa, Jalapa, El Progreso, Zacapa, e inclusive, llegando a la parte sur del departamento de Izabal. También existe una franja al norte del departamento de Petén que muestra valores intermedios de riqueza de especies de aves (figura 5a).

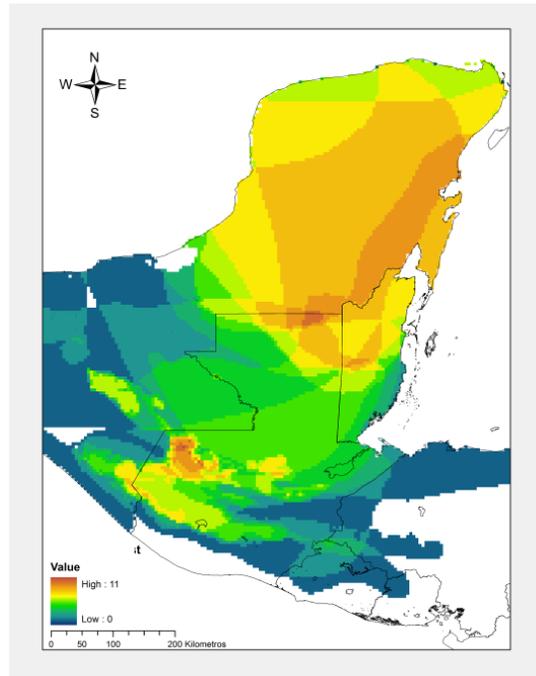


Figura 4. Mapa sobre la diversidad alfa de los mamíferos endémicos distribuidos en Guatemala.

En el caso de los reptiles, los patrones de alta riqueza de especies se concentran en regiones más pequeñas, comparados con los demás grupos, más que todo al occidente del país, en los departamentos de San Marcos (frontera con México), Quetzaltenango, Totonicapán, y Sololá, en algunos puntos de Chimaltenango, y algunas regiones en Huehuetenango, y en latitudes más al norte, en el departamento del Petén (figura 5b). También existe un foco de riqueza intermedia en el altiplano, que corresponde a Alta y Baja Verapaz, así como en el departamento de El Progreso, al oriente del país.

Finalmente, para los anfibios las zonas de mayor riqueza de especies se encuentran también en una franja delgada al occidente del país, específicamente en San Marcos, Quetzaltenango y Sololá. Aunque también aparecen zonas ricas en anfibios en Quiché, Huehuetenango y el altiplano del país, hasta llegar al noroeste del departamento de Izabal, circundando la región norte del lago de Izabal, y bajando incluso a los departamentos orientales de Zacapa y El Progreso (figura 6).

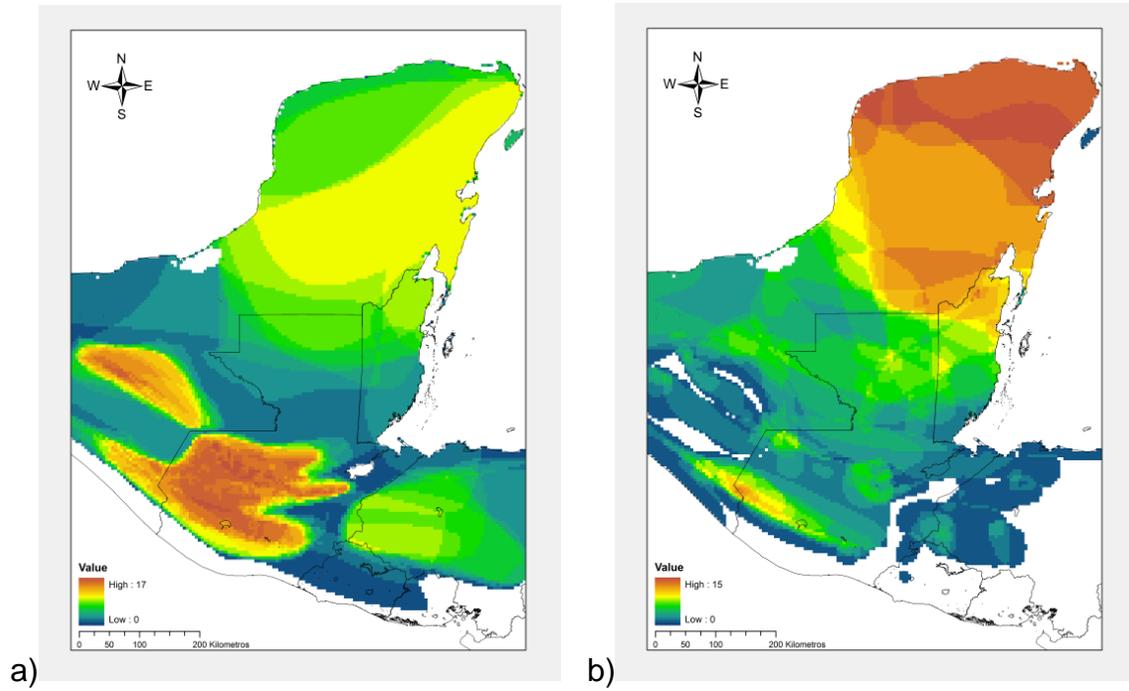


Figura 5. Mapas sobre la diversidad alfa de a) las aves endémicas, y b) los reptiles endémicos distribuidos en Guatemala.

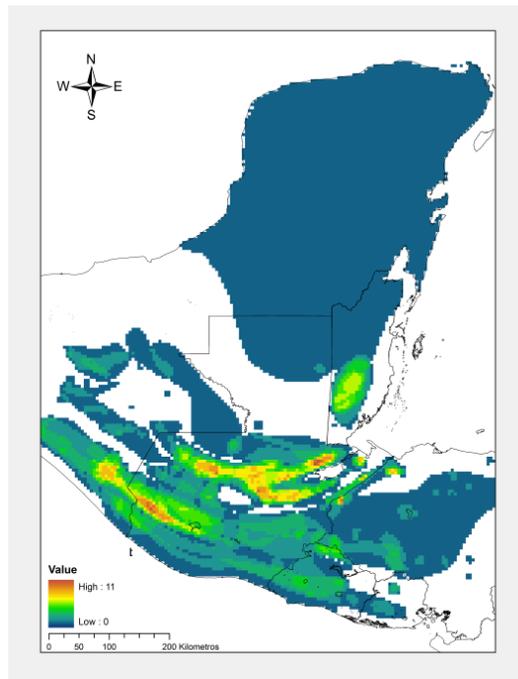


Figura 6. Mapa sobre la diversidad alfa de los anfibios endémicos distribuidos en Guatemala.

ii. Diversidad Beta

Al analizar los mapas de diversidad beta generados, por grupo, surge un patrón similar en general, aunque con algunas pequeñas diferencias al interior del grupo (figuras 7 y 8). Como se mencionó anteriormente, las áreas con altos valores de riqueza de especies (o *hot spots*) no presentan las mayores tasas de recambio de especies, sino que muestran valores intermedios. Sin embargo dichas áreas de alta diversidad alfa se encuentran rodeadas con áreas con los más altos valores de diversidad beta, lo que podría explicar el patrón observado de la diversidad gamma (ver apartado siguiente). Otro dato interesante es que estas áreas con alto recambio de especies, se caracterizan por presentar los valores de riqueza de especie más bajos.

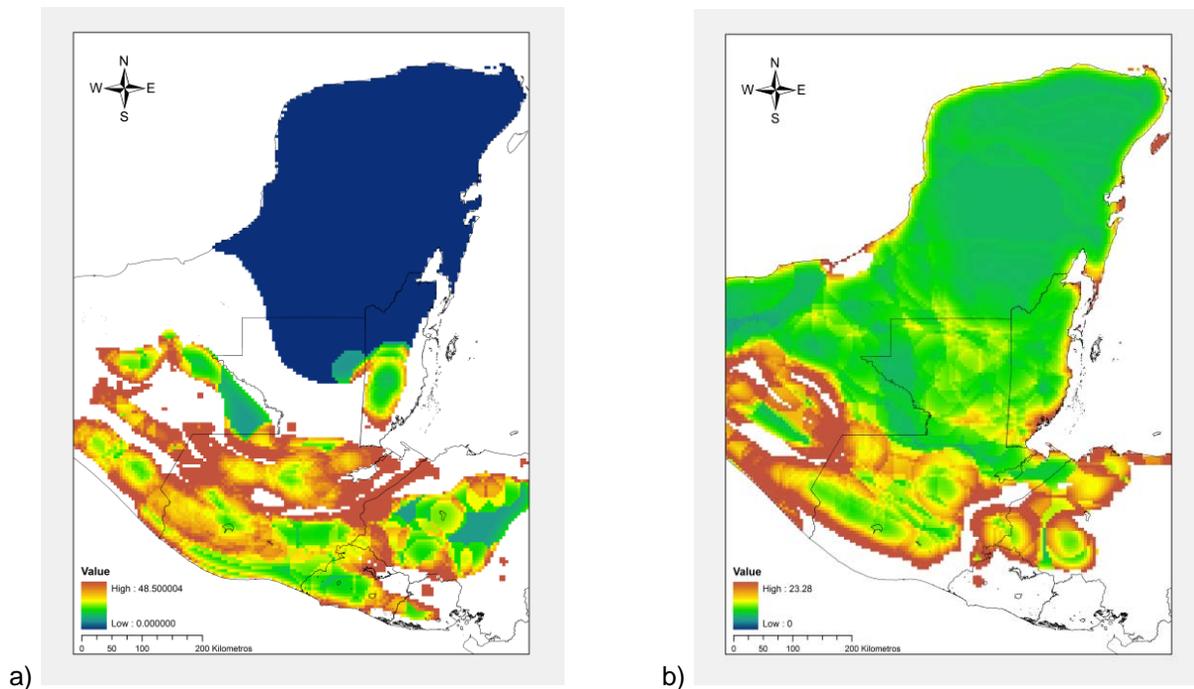


Figura 7. Mapas sobre la diversidad beta de a) los anfibios, y, b) los reptiles endémicos distribuidos en Guatemala.

Los sitios de mayor diversidad α tienden a presentar un alto recambio de especies, o diversidad β , pero no los valores α más altos, es decir, los *hot spots*, presentan un recambio de especies menor que el ocurre afuera de ellos, y

además, tanto dentro como fuera de los *hot spots*, las especies se caracterizan por tener áreas de distribución muy restringida.

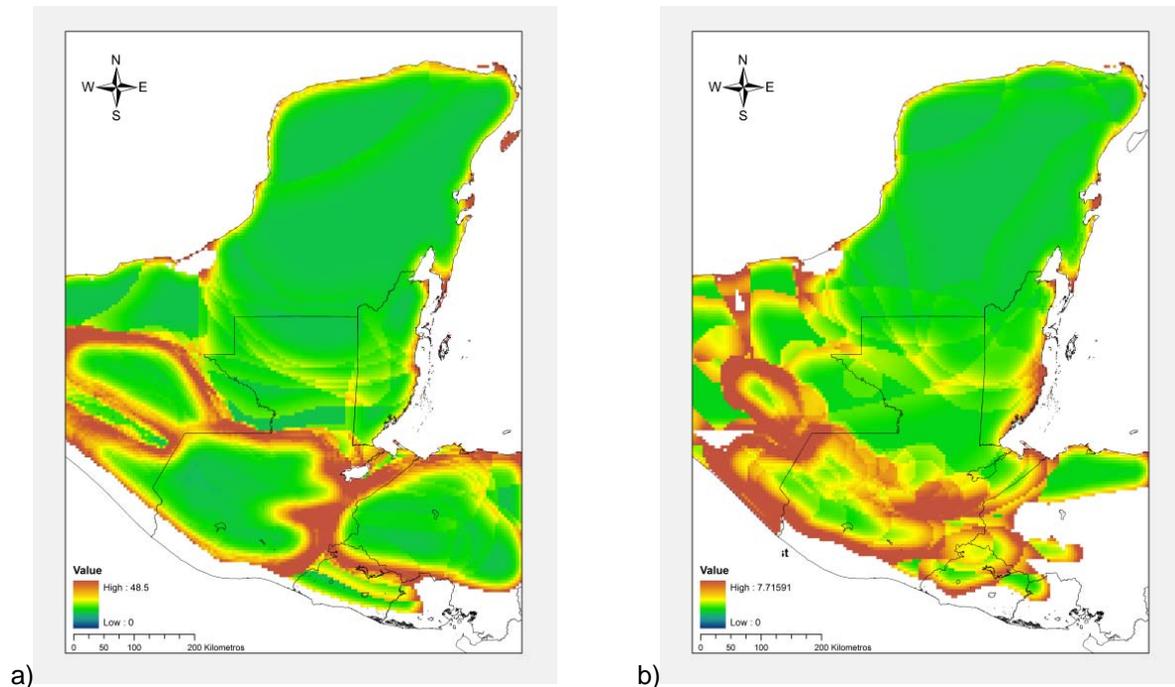


Figura 8. Mapas sobre la diversidad beta de a) las aves, y b) los mamíferos endémicos distribuidos en Guatemala.

iii. Diversidad Gamma

Los valores más altos de diversidad γ se distribuyen, para los mamíferos por ejemplo, de nuevo al norte del occidente del país, una franja heterogénea de valores gamma que empieza en el departamento de Huehuetenango, hasta llegar a Baja Verapaz (figura 9), aunque en este caso, la expansión del número de celdas ocupadas indica que existen áreas de nuevos departamentos que no presentaban una alta diversidad alfa, pero que se consideran regiones con una alta diversidad gamma. Luego, en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y una gran área en el norte y noreste de Petén, los cuales presentaban valores altos de riqueza de especies, muestran valores altos de diversidad gamma, aunque más bajos que la franja mencionada al principio del párrafo. El resto del territorio nacional, compuesto por gran parte de la vertiente

del atlántico y una extensa región al centro del país, muestran valores gamma intermedios y más bajos.

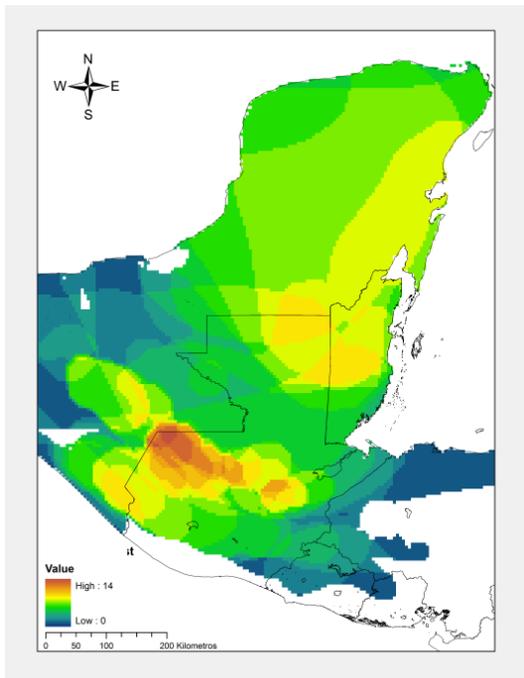


Figura 9. Mapa sobre la diversidad gamma de los mamíferos endémicos distribuidos en Guatemala.

Con las aves el conjunto más rico de especies se encuentra ocupando la totalidad de las Tierras Altas, desde occidente hasta buena parte de oriente, pero se extiende mucho más allá si se compara con la distribución de la diversidad alfa, ocupando regiones en las vertientes del Atlántico al Norte, y del Pacífico al Sur. De nuevo, se observa valores intermedios de diversidad gamma en la región norte de

Petén, aunque son mucho más bajos que los descritos arriba (figura 10).

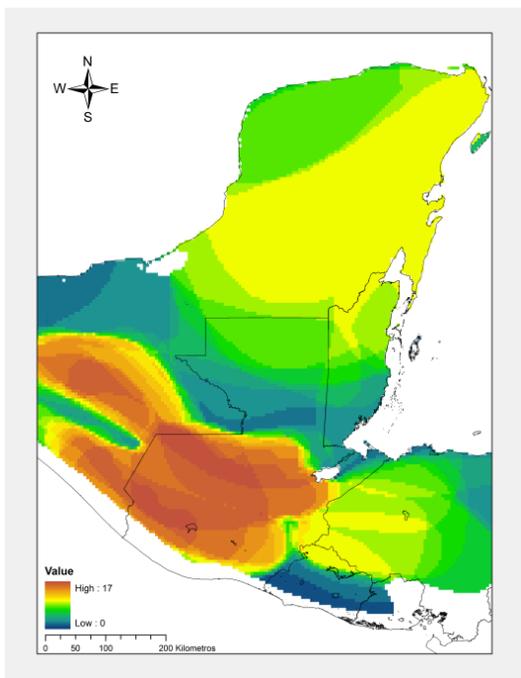


Figura 10. Mapa sobre la diversidad gamma de las aves endémicas distribuidas en Guatemala.

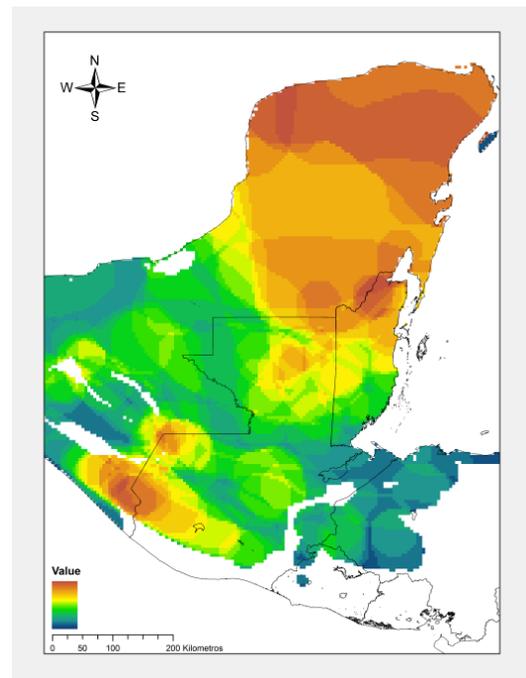


Figura 11. Mapa sobre la diversidad gamma de los reptiles endémicos distribuidos en Guatemala.

En el caso de los reptiles, los puntos más altos de diversidad γ se concentran en las regiones que presentaron los valores más altos de riqueza de especies, al occidente del país (figura 11). Dos áreas de gran valor, en los departamentos de Huehuetenango y San Marcos, comparten esta riqueza conjuntamente con áreas dentro del territorio mexicano. Como se ha venido mencionando, el patrón abarca los mismos departamentos que ocupó la distribución de la diversidad alfa, aunque mucho más extendido. Una diferencia notable es que la región en Petén que presentó valores intermedios altos de riqueza de especies, muestra valores altos de diversidad gamma, resultado que demuestra que dicha región se caracterizó por valores de recambio de especies o beta, mayores comparados con el resto dentro del departamento de Petén.

El grupo de los anfibios endémicos no es la excepción en cuanto al patrón de distribución de la diversidad gamma en Guatemala, es decir, ocupa las mismas áreas que la diversidad alfa, pero más extensas. Sin embargo, los puntos más altos se concentran en los departamentos de Huehuetenango y Quiché, San Marcos y Retalhuleu, el altiplano, e Izabal, y una pequeña porción en Zacapa (figura 12). Existen algunas diferencias sutiles comparadas con la riqueza de especies, como por ejemplo, sobresale un área de gran riqueza al norte del lago de Izabal, mientras que el mayor *pool* de especies en esta región, se concentró al sur del lago.

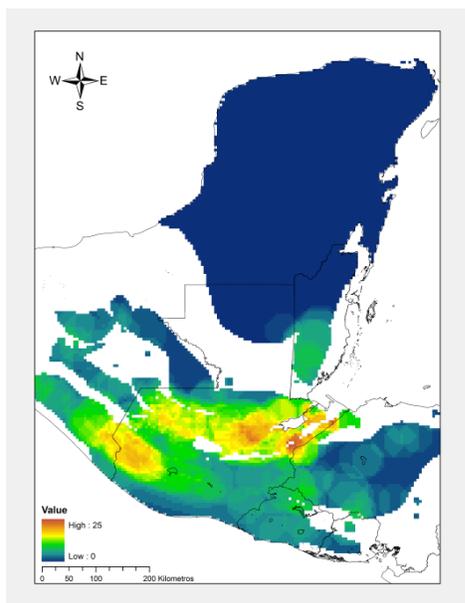


Figura 12. Mapa sobre la diversidad gamma de los anfibios endémicos distribuidos en Guatemala.

iv. Rangos de Restricción

Los sitios o zonas de endemismo en el país se dedujeron con los índices de Rango de Restricción (RRI), ya que son equivalentes o comparables. Los grupos de vertebrados terrestres con mayor RRI fueron los anfibios, con un $RRI=0.999794$ (figura 13a), y abarcan un área muy grande del territorio nacional. Sin embargo, existe una región que cubre el norte y noreste de Petén, con poblaciones de especies de anfibios endémicos con rangos más amplios (por debajo de la mitad del índice del RRI).

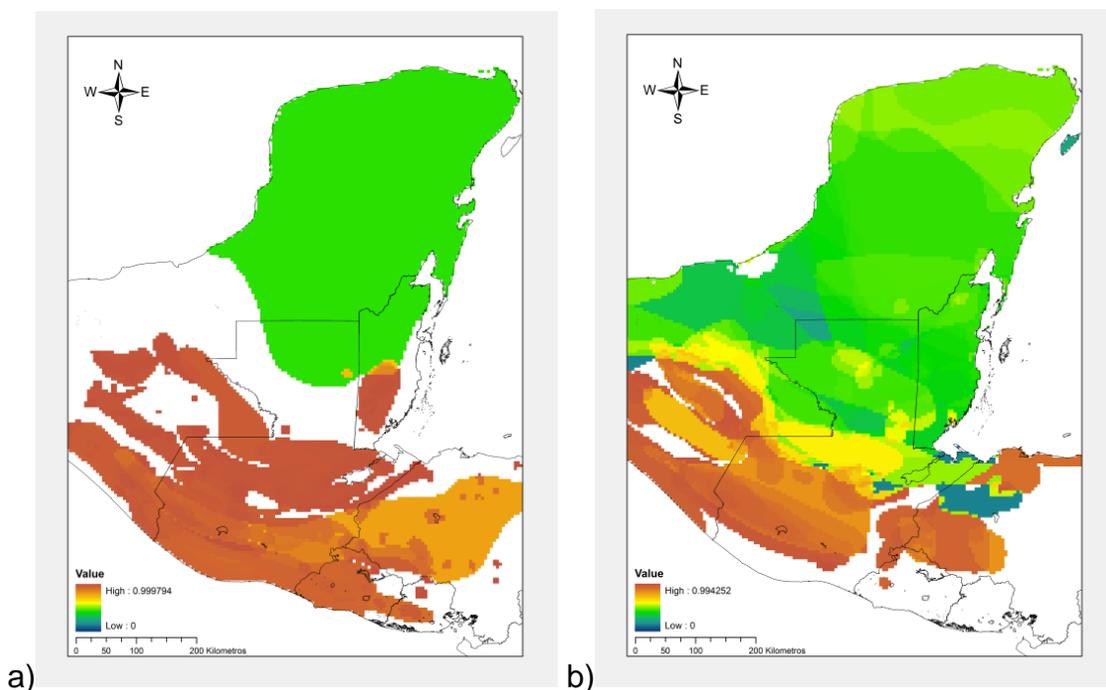


Figura 13. Mapa sobre el Rango de Restricción de las especies de a) anfibios y b) reptiles endémicos distribuidos en Guatemala.

Los reptiles también presentan un patrón de endemismo similar al de los anfibios (figura 13b). Su valor de RRI es de 0.994252, aunque la región que abarca zonas de endemismo se restringe en mayor grado que el grupo anterior, ya que abarca solamente latitudes intermedias, sin llegar al sur o la costa del Pacífico de Guatemala. Otra diferencia es que los reptiles endémicos presentan una distribución en todo el departamento de Petén, pero presentaron rangos de distribución más amplias que los del resto del país. En el caso de los mamíferos

endémicos, estos presentan en promedio, un área de distribución menos restringida que el de anfibios y reptiles, pero más que el de aves, es decir, un rango intermedio (figura 14a y b).

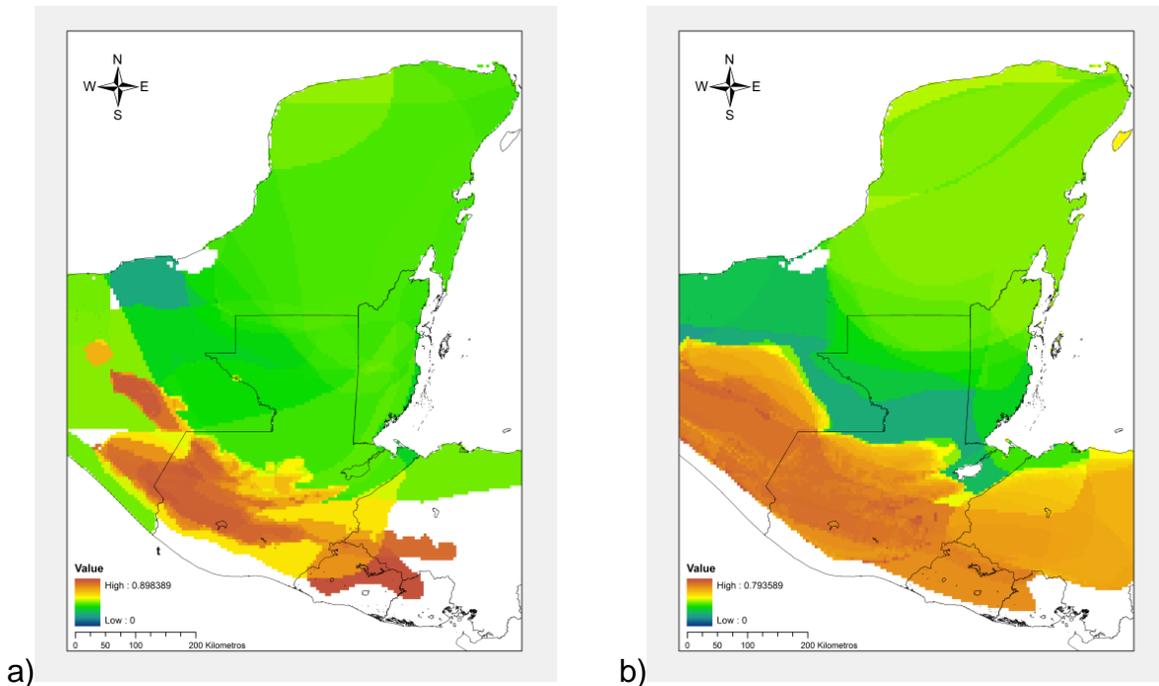


Figura 14. Mapa sobre el Rango de Restricción de las especies de a) mamíferos y b) aves endémicos distribuidos en Guatemala.

7.4 Análisis de complementariedad

El análisis de complementariedad estableció que son necesarias al menos 70 APs para la conservación del 92.77% de las especies endémicas identificadas para Guatemala (figura 15). No se puede completar un porcentaje del 100% de conservación debido a que algunas especies no están cubiertas por el SIGAP, por lo que es necesario decretar otras APs en sitios específicos para lograr dicho porcentaje.

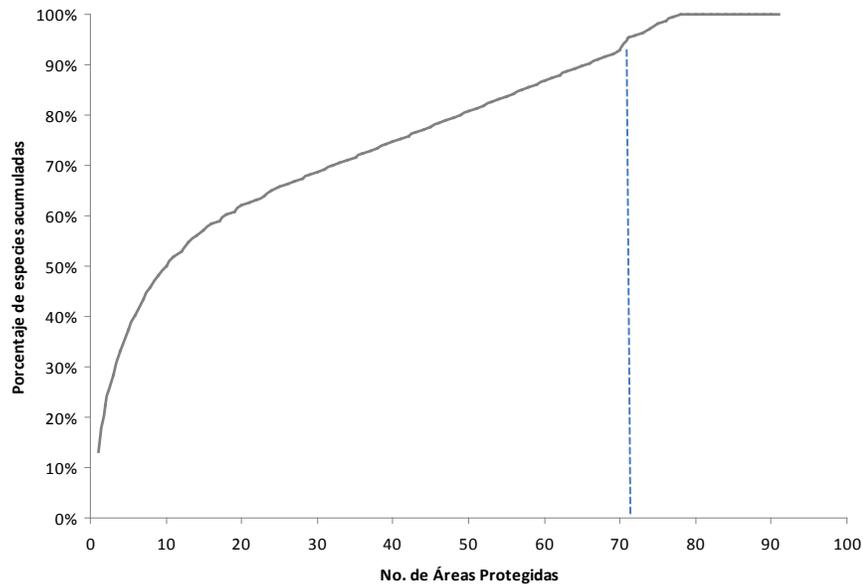


Figura 15. Complementariedad de las áreas protegidas en Guatemala, referente con la conservación de las especies endémicas distribuidas dentro del SIGAP.

Las APs que se complementan se encuentran distribuidas dentro de todo el país, cubriendo diferentes tipos de hábitat (cuadro 1). Dentro de los análisis se estableció que en conjunto la Sierra de las Minas y la Sierra de los Cuchumatanes logran el resguardo de más del 22% del total de las especies incluidas, identificando su importancia dentro del SIGAP.

Cuadro 1. Áreas Protegidas dentro del SIGAP que se complementan para conservar el 92.77% de las especies endémicas que se distribuyen en el país.

No.	Área Protegida	Porcentaje de especies endémicas cubiertas por el SIGAP
1	Sierra de las Minas	13.25
2	Sierra de los Cuchumatanes	22.29
3	Volcán Tacaná	28.31
4	Volcán Tajumulco	33.13
5	Astillero Municipal de San Marcos	37.35
6	Bosque Cacique Dormido	40.36
7	Canjula Tacana Tocatote Los Maijones	43.37
8	Parque Regional Municipal de Quetzaltenango	45.78
9	Quetzaltenango – Saqbé	48.19
10	Bosque Falda del Cacaix	50.00
11	Cuenca del Lago Atitlán	51.81
12	Bosque Agua Paloma	53.01
13	Bosque Toj coral	54.82
14	Bosque Xecampana	56.02

15	El Caracol - Los Espinos - Mirasol y Tizate	57.23
16	Volcanes Santo Tomás y Zunil	58.43
17	Astillero Municipal 1 y 2 de San Pedro Sacatepequez San Marcos	59.04
18	Atitlán	60.24
19	Bosque Popb'il	60.84
20	Bosque Xecacaix	62.05
21	Visis Cabá	62.65
22	Volcán Lacandón	63.25
23	Volcán Santo Tomás	63.86
24	Volcán Tolimán	65.06
25	Volcán Zunil	65.66
26	Zunil	66.27
27	La Rosita	66.87
28	El Baúl	67.47
29	Mario Dary	68.07
30	Tewancarnero	68.67
31	Volcán Chicabal	69.28
32	Country	69.88
33	El Ciruelo - Country Delight	70.48
34	Los Altos de San Miguel Totonicapán	71.08
35	Montebello	71.69
36	Posada Montaña del Quetzal	72.29
37	Santa Rosa y Llano Largo	72.89
38	Volcán Coxliquel	73.49
39	Magnolias	74.10
40	San José la Colonia	74.70
41	E.C.A. Xejeyu	75.30
42	Finca Rústica Chimel	75.90
43	Pachuj	76.51
44	Chelemha	77.11
45	Grutas de Lanquín	77.71
46	La Joya	78.31
47	Peña de Angel	78.92
48	El Naranjo	79.52
49	Volcán Fuego	80.12
50	Milán y Anexos	80.72
51	La Soledad y Anexos	81.33
52	Chusita	81.93
53	Mirador-Río Azul	82.53
54	Cordillera Alux	83.13
55	Astillero Sunpango El Rejon Chirres y Los Encuentros	83.73
56	Tikal	84.34
57	San José Yalu	84.94
58	Los Castaños	85.54
59	Buenos Aires II	86.14
60	Cerro Cahuí	86.75
61	Volcán Cerro Redondo	87.35
62	Los Cerritos - El Postezuelo	87.95
63	El Pollo	88.55
64	La Ponderora	89.16
65	Cuevas El Tecolote	89.76
66	El Pucté	90.36

67	El Rosario	90.96
68	Bocas del Polochic	91.57
69	Cuevas del Silvino	92.17
70	La Aventura	92.77

7.5 Análisis de representatividad

7.5.1 Identificación de áreas de alto valor de diversidad

Se identificaron tres áreas con altos valores de biodiversidad en el país (*hot spot*), a partir de los análisis de la diversidad alfa y gamma de las especies endémicas de interés dentro del estudio (anexo 4). Las áreas identificadas comprenden los siguientes sitios:

- Área No. 1: Sierra de los Cuchumatanes, delimitada en los municipios de San Mateo Ixtatán, Barillas, Nentón y Santa Eulalia en el departamento de Huehuetenango. Además del municipio de Nebaj en Quiché.
- Área No. 2: sistema montañoso presente en los municipios de Tactic, Tukurú y Senahú del departamento de Alta Verapaz. Sierra de Chuacús del departamento de Baja Verapaz. Además de algunos sitios ubicados en los linderos de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas.
- Área no. 3: cordillera volcánica y montañas altas del occidente en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango.

7.5.2 Representatividad dentro del SIGAP

El análisis de representatividad muestra que la mayoría de los espacios presentes en las áreas identificadas con altos valores de diversidad biológica de especies endémicas en Guatemala y las regiones determinadas con alto rango de restricción, no se encuentran cubiertos por el SIGAP evidenciando fuertes vacíos de conservación. En general cada uno de estos espacios se caracteriza por contar con pocas APs, las cuales en su mayoría se limitan a pequeñas extensiones de terreno y altos grados de aislamiento. En su mayoría son Parques Regionales Municipales y Reservas Naturales Privadas las cuales pueden funcionar como una alternativa para aumentar los procesos de

conservación dentro de estos espacios. Específicamente las APs presentes son las siguientes:

Área No. 1: Parque Regional Municipal Montaña Aq'oma', Reserva de Biosfera Visis Cabá, Reserva Forestal Municipal Todos Santos Cuchumatán, Reserva Natural Privada Finca La Gloria, Reserva Natural Privada Finca Rústica Chimel

Área No. 2: Biotopo Protegido Mario Dary, Parque Nacional San José la Colonia, Parque Nacional Las Victorias, Reserva Natural Privada Chicacnab, sección sur de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas.

Área No. 3: Zona de Veda Definitiva Volcán Tacaná, Zona de Veda Definitiva Volcán Tajumulco, Parque Regional Municipal Astillero Municipal Esquipulas Palo Gordo, Reserva Natural Privada Medio Día, Zona de Veda Definitiva Volcán San Antonio, Parque Regional Municipal El Caracol - Los Espinos - Mirasol y Tizate

Área con rango de restricción: Área de Usos Múltiples Monterrico, Parque Nacional Sipacate-Naranja, Reserva Natural Privada Canaima, Reserva Natural Privada la Chorrera – Manchón Guamuchal.

7.6 Análisis gap

7.6.1 Identificación Especies gap

Se identificaron 15 especies endémicas sin distribución potencial dentro de las áreas que integran el SIGAP (cuadro 2). Cabe resaltar que tres especies (*Aspidoscelis motaguae*, *Sceloporus internasalis*, *Amazona xantholora*) no presentan datos de distribución actualizados, por lo que no aparecen reportados dentro del territorio guatemalteco. Aunque estudios (sin publicar) reportan su presencia en diferentes lugares dentro del país.

Además, cinco especies (*Craugastor myllomyllon*, *Exerodonta perkinsi*, *Plectrohyla teuchestes*, *Ptychohyla dendrophasma*, *Ptychohyla macrotympanum*)

se distribuyen exclusivamente dentro del país, por lo que su ausencia dentro del SIGAP es aún más significativa.

Cuadro 2. Especies sin distribución potencial dentro del SIGAP.

	Especie	Grupo taxonómico	Porcentaje de distribución dentro de Guatemala
1	<i>Craugastor amniscola</i>	Anfibios	8.81
2	<i>Craugastor greggi</i>	Anfibios	65.06
3	<i>Craugastor myllomyllon</i>	Anfibios	100
4	<i>Ecnomiohyla salvaje</i>	Anfibios	14.42
5	<i>Exerodonta perkinsi</i>	Anfibios	100
6	<i>Incilius tutelarius</i>	Anfibios	1.85
7	<i>Plectrohyla teuchestes</i>	Anfibios	100
8	<i>Ptychohyla dendrophasma</i>	Anfibios	100
9	<i>Ptychohyla macrotympanum</i>	Anfibios	100
10	<i>Aspidoscelis motaguae</i>	Reptiles	0
11	<i>Laemantus serratus</i>	Reptiles	0.36
12	<i>Sceloporus carinatus</i>	Reptiles	2.48
13	<i>Sceloporus internasalis</i>	Reptiles	0
14	<i>Peromyscus zarhynchus</i>	Mamíferos	0.07
15	<i>Amazona xantholora</i>	Aves	0*

* Se tienen registros no publicados de esta especie dentro de Guatemala en el Parque Nacional Mirador - Río Azul (R. Balas, Com. pers.)

Del total de las especies endémicas seleccionadas dentro del estudio (n =169), 154 presentan diferentes porcentajes de protección a lo largo de todo el SIGAP (cuadro 3). Aunque se debe indicar que para la mayoría de especies la protección cubre menos del 25% del total de su distribución dentro del país (cuadro 4).

Cuadro 3. Especies endémicas protegidas dentro del SIGAP

	Grupo Taxonómico	Especie	Porcentaje de distribución en Guatemala	Porcentaje de distribución en SIGAP
1	Anfibios	<i>Bolitoglossa conanti</i>	13.48	33.14
2	Anfibios	<i>Bolitoglossa cuchumatana</i>	100	14.02
3	Anfibios	<i>Bolitoglossa dofleini</i>	65.99	41.76
4	Anfibios	<i>Bolitoglossa dunni</i>	1.40	94.59
5	Anfibios	<i>Bromelohyla bromeliacia</i>	91.05	18.71
6	Anfibios	<i>Craugastor adamastus</i>	100	100
7	Anfibios	<i>Craugastor aphanus</i>	100	91.84
8	Anfibios	<i>Craugastor bocourti</i>	100	41.24
9	Anfibios	<i>Craugastor brocchi</i>	93.83	28.95
10	Anfibios	<i>Craugastor campbelli</i>	100	100
11	Anfibios	<i>Craugastor charadra</i>	47.19	35.47

12	Anfibios	<i>Craugastor daryi</i>	100	48.067
13	Anfibios	<i>Craugastor inachus</i>	100	21.89
14	Anfibios	<i>Craugastor laticeps</i>	47.48	23.13
15	Anfibios	<i>Craugastor lineatus</i>	35.69	10.87
16	Anfibios	<i>Craugastor matudai</i>	55.56	29.48
17	Anfibios	<i>Craugastor nefrens</i>	100	100
18	Anfibios	<i>Craugastor palenque</i>	23.24	22.27
19	Anfibios	<i>Craugastor psephosypharus</i>	56.74	23.37
20	Anfibios	<i>Craugastor pygmaeus</i>	57.03	24.97
21	Anfibios	<i>Craugastor rivulus</i>	100	7.85
22	Anfibios	<i>Craugastor rostralis</i>	53.69	28.31
23	Anfibios	<i>Craugastor rupinius</i>	54.94	4.07
24	Anfibios	<i>Craugastor sabrinus</i>	25.94	52.92
25	Anfibios	<i>Craugastor sandersoni</i>	33.94	30.67
26	Anfibios	<i>Craugastor stuarti</i>	98.23	44.33
27	Anfibios	<i>Craugastor trachydermus</i>	100	15.01
28	Anfibios	<i>Craugastor xucanebi</i>	100	31.27
29	Anfibios	<i>Dendropsophus robertmertensi</i>	43.86	1.89
30	Anfibios	<i>Duellmanohyla schmidtorum</i>	5.12	0.63
31	Anfibios	<i>Duellmanohyla soralia</i>	32.39	69.14
32	Anfibios	<i>Ecnomihyla minera</i>	100	1.73
33	Anfibios	<i>Eleutherodactylus rubrimaculatus</i>	52.71	6.92
34	Anfibios	<i>Gymnopsis syntrema</i>	71.58	31.11
35	Anfibios	<i>Hyla bocourti</i>	100	3.28
36	Anfibios	<i>Hyla walkeri</i>	47.95	10.31
37	Anfibios	<i>Hypopachus barberi</i>	29.24	41.27
38	Anfibios	<i>Incilius bocourti</i>	97.97	26.48
39	Anfibios	<i>Incilius campbelli</i>	63.50	13.66
40	Anfibios	<i>Incilius canaliferus</i>	41.33	1.81
41	Anfibios	<i>Incilius ibarra</i>	62.22	5.28
42	Anfibios	<i>Incilius macrocristatus</i>	5.29	8.69
43	Anfibios	<i>Incilius tacanensis</i>	97.25	17.98
44	Anfibios	<i>Lithobates macroglossa</i>	100	6.79
45	Anfibios	<i>Plectrohyla acanthodes</i>	9.65	41.88
46	Anfibios	<i>Plectrohyla avia</i>	49.31	22.73
47	Anfibios	<i>Plectrohyla glandulosa</i>	98.78	20.14
48	Anfibios	<i>Plectrohyla guatemalensis</i>	32.42	15.27
49	Anfibios	<i>Plectrohyla hartwegi</i>	68.37	47.18
50	Anfibios	<i>Plectrohyla ixil</i>	63.79	55.18
51	Anfibios	<i>Plectrohyla matudai</i>	72.08	35.08
52	Anfibios	<i>Plectrohyla pokomchi</i>	100	42.46
53	Anfibios	<i>Plectrohyla quecchi</i>	100	19.22
54	Anfibios	<i>Plectrohyla sagorum</i>	41.35	25.20

55	Anfibios	<i>Plectrohyla tecunumani</i>	100	70.59
56	Anfibios	<i>Ptychohyla euthysanota</i>	47.00	27.92
57	Anfibios	<i>Ptychohyla panchoi</i>	100	74.98
58	Anfibios	<i>Ptychohyla salvadorensis</i>	9.72	60.02
59	Anfibios	<i>Ptychohyla sanctaecrucis</i>	100	50.10
60	Anfibios	<i>Tripurion petasatus</i>	9.15	94.01
61	Reptiles	<i>Abronia matudai</i>	81.15	21.41
62	Reptiles	<i>Ameiva chaitzami</i>	96.34	36.57
63	Reptiles	<i>Aspidoscelis angusticeps</i>	0.77	13.24
64	Reptiles	<i>Aspidoscelis maslini</i>	13.35	48.21
65	Reptiles	<i>Bothriechis aurifer</i>	87.49	26.82
66	Reptiles	<i>Bothriechis bicolor</i>	52.69	34.91
67	Reptiles	<i>Coniophanes quinquevittatus</i>	9.58	44.33
68	Reptiles	<i>Coniophanes schmidti</i>	8.33	72.30
69	Reptiles	<i>Dipsas brevifacies</i>	0.52	98.53
70	Reptiles	<i>Geophis cancellatus</i>	45.92	3.15
71	Reptiles	<i>Geophis carinosus</i>	11.63	9.40
72	Reptiles	<i>Geophis immaculatus</i>	50.89	2.77
73	Reptiles	<i>Geophis nasalis</i>	71.71	20.64
74	Reptiles	<i>Geophis rhodogaster</i>	89.54	12.33
75	Reptiles	<i>Heloderma horridum</i>	14.57	12.73
76	Reptiles	<i>Leptodeira frenata</i>	13.84	75.53
77	Reptiles	<i>Leptophis modestus</i>	31.87	16.39
78	Reptiles	<i>Mesoscincus schwartzei</i>	15.62	78.31
79	Reptiles	<i>Micrurus diastema</i>	19.35	53.40
80	Reptiles	<i>Micrurus elegans</i>	29.89	18.73
81	Reptiles	<i>Micrurus latifasciatus</i>	46.34	26.52
82	Reptiles	<i>Rhadinaea hannsteini</i>	91.66	22.69
83	Reptiles	<i>Rhadinaea kinkelini</i>	56.07	12.18
84	Reptiles	<i>Rhadinaea lachrymans</i>	67.09	10.27
85	Reptiles	<i>Sceloporus chrysostictus</i>	0.57	79.08
86	Reptiles	<i>Sceloporus lundelli</i>	0.66	100
87	Reptiles	<i>Sceloporus smaragdinus</i>	90.63	26.88
88	Reptiles	<i>Sceloporus taeniocnemis</i>	35.98	28.02
89	Reptiles	<i>Sceloporus teapensis</i>	29.95	54.79
90	Reptiles	<i>Sibon fischeri</i>	75.90	13.54
91	Reptiles	<i>Sibon sanniola</i>	0.98	100
92	Reptiles	<i>Symphimus mayae</i>	0.63	100
93	Reptiles	<i>Tantilla cuniculator</i>	1.43	100
94	Reptiles	<i>Tantilla impensa</i>	62.89	14.52
95	Reptiles	<i>Tantilla jani</i>	70.42	16.54
96	Reptiles	<i>Tantilla moesta</i>	4.85	88.12
97	Reptiles	<i>Tantilla tayrae</i>	14.70	43.90

98	Reptiles	<i>Tantillita brevissima</i>	26.73	7.19
99	Reptiles	<i>Tantillita canula</i>	7.20	82.97
100	Reptiles	<i>Tantillita lintoni</i>	74.53	63.91
101	Reptiles	<i>Thamnophis fulvus</i>	72.36	13.67
102	Reptiles	<i>Typhlops microstomus</i>	15.70	99.86
103	Reptiles	<i>Typhlops tenuis</i>	22.29	14.03
104	Reptiles	<i>Xenosaurus grandis</i>	43.38	31.01
105	Mamíferos	<i>Alouatta pigra</i>	25.91	49.72
106	Mamíferos	<i>Balantiopteryx io</i>	41.47	47.09
107	Mamíferos	<i>Cryptotis goodwini</i>	74.91	17.07
108	Mamíferos	<i>Cryptotis griseoventris</i>	59.26	32.93
109	Mamíferos	<i>Cryptotis mayensis</i>	8.51	94.12
110	Mamíferos	<i>Cryptotis tropicalis</i>	66.36	17.36
111	Mamíferos	<i>Habromys lophurus</i>	76.75	17.28
112	Mamíferos	<i>Handleyomys rhabdops</i>	27.11	24.77
113	Mamíferos	<i>Heteromys gaumeri</i>	10.00	95.36
114	Mamíferos	<i>Heteromys nelsoni</i>	77.83	25.68
115	Mamíferos	<i>Lophostoma evotis</i>	28.97	41.89
116	Mamíferos	<i>Mazama pandora</i>	6.18	100
117	Mamíferos	<i>Microtus guatemalensis</i>	81.90	16.51
118	Mamíferos	<i>Myotis cobanensis</i>	100	0.02
119	Mamíferos	<i>Otonyctomys hatti</i>	4.45	100
120	Mamíferos	<i>Peromyscus grandis</i>	100	37.70
121	Mamíferos	<i>Peromyscus guatemalensis</i>	75.77	20.51
122	Mamíferos	<i>Peromyscus mayensis</i>	100	65.51
123	Mamíferos	<i>Peromyscus yucatanicus</i>	2.12	99.16
124	Mamíferos	<i>Reithrodontomys tenuirostris</i>	90.75	23.83
125	Mamíferos	<i>Rheomys thomasi</i>	17.89	8.08
126	Mamíferos	<i>Rhogeessa aeneus</i>	3.36	99.56
127	Mamíferos	<i>Sciurus yucatanensis</i>	24.13	54.97
128	Aves	<i>Arremonops chloronotus</i>	26.58	49.93
129	Aves	<i>Aspatha gularis</i>	42.07	14.85
130	Aves	<i>Atthis ellioti</i>	44.17	13.75
131	Aves	<i>Campylopterus rufus</i>	53.22	23.94
132	Aves	<i>Caprimulgus badius</i>	1.35	60.68
133	Aves	<i>Carduelis atriceps</i>	58.35	12.68
134	Aves	<i>Cyanocorax yucatanicus</i>	7.10	99.93
135	Aves	<i>Cyanolyca pumilo</i>	37.69	16.18
136	Aves	<i>Cyrtonyx ocellatus</i>	36.09	14.45
137	Aves	<i>Doricha enicura</i>	51.77	13.92
138	Aves	<i>Ergaticus versicolor</i>	76.82	23.30
139	Aves	<i>Granatellus sallaei</i>	17.20	57.16
140	Aves	<i>Icterus maculialatus</i>	48.36	14.15

141	Aves	<i>Lampornis viridipallens</i>	44.22	14.61
142	Aves	<i>Megascops barbarus</i>	55.80	14.45
143	Aves	<i>Melanoptila glabrirostris</i>	4.82	99.90
144	Aves	<i>Melanotis hypoleucus</i>	44.00	14.33
145	Aves	<i>Meleagris ocellata</i>	15.66	83.38
146	Aves	<i>Myiarchus yucatanensis</i>	10.49	97.51
147	Aves	<i>Notiochelidon pileata</i>	58.79	13.00
148	Aves	<i>Nyctiphrynus yucatanicus</i>	8.82	99.77
149	Aves	<i>Oreophasis derbianus</i>	84.03	16.49
150	Aves	<i>Piranga roseogularis</i>	9.23	99.96
151	Aves	<i>Strix fulvescens</i>	40.29	14.20
152	Aves	<i>Tangara cabanisi</i>	35.60	10.80
153	Aves	<i>Turdus rufitorques</i>	66.05	14.87
154	Aves	<i>Xenotriccus callizonus</i>	52.39	13.76

Cuadro 4. Rangos de protección dentro del SIGAP de 154 especies endémicas.

Distribución de las especies cubierta dentro del SIGAP	No. de especie endémicas				Totales
	Anfibios	Reptiles	Mamíferos	Aves	
0 – 25%	30	19	10	18	77
26 – 50%	18	10	5	1	34
51 – 75%	6	5	2	2	15
76 – 100%	6	10	6	6	28
Totales	60	44	23	27	154

7.6.2 Cobertura de distribución vs. SIGAP

Se identificaron las APs que contienen a cada una de las especies endémicas seleccionadas dentro del estudio (cuadro 5). Siendo la Reserva Natural Privada Las Nubes y la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas las que contienen la mayor cantidad de especies (52 y 50 respectivamente).

Cuadro 5. Cantidad de especies endémicas presentes en cada una de las áreas protegidas que integran el SIGAP

Nombre Área Protegida	No. de especies			
	ANFIBIOS	REPTILES	AVES	MAMIFEROS
Las Nubes	15	8	19	10
Sierra de las Minas	16	9	16	9
Sierra de los Cuchumatanes	14	7	17	12
Volcán Tacaná	10	14	15	8
Volcán Tajumulco	11	12	16	8
Astillero Municipal de San Marcos	12	12	15	7
Bosque Cacique Dormido	10	11	16	7
Canjula Tacana Tocapote Los Maijones	10	13	14	7
Parque Regional Municipal de Quetzaltenango	9	11	16	7
Quetzaltenango - Saqbé	9	11	16	7
Bosque Falda del Cacaix	10	10	15	7
Cuenca del Lago Atitlán	9	10	17	6
Bosque Agua Paloma	9	10	15	7
Bosque Toj coral	10	9	15	7
Bosque Xecampana	10	9	15	7
El Caracol - Los Espinos - Mirasol y Tizate	9	10	15	7
Volcanes Santo Tomás y Zunil	8	10	16	7
Astillero Municipal 1 y 2 de San Pedro Sacatepequez San Marcos	9	10	15	6
Atitlán	8	10	16	6
Bosque Popb'il	8	10	15	7
Bosque Xecacaix	8	10	15	7
Visis Cabá	10	4	17	9
Volcán Zunil	7	10	16	7
Volcán Lacandón	9	9	15	7
Volcán Santo Tomás	8	9	16	7
Volcán Tolimán	7	10	16	7
Zunil	7	10	16	7
La Rosita	9	8	15	7
Volcán San Antonio	8	10	15	6
El Baúl	6	10	15	7
Mario Dary	10	6	16	6
Tewancarnero	6	11	14	7
Volcán Chicabal	9	8	14	7
Cerro Verde	9	6	16	6
Country	10	6	15	6
El Ciruelo - Country Delight	10	6	15	6
Llano Largo	10	6	15	6

Los Altos de San Miguel Totonicapán	6	8	17	6
Montebello	10	6	15	6
Posada	9	6	16	6
Posada Montaña del Quetzal	9	6	16	6
Ramtzul	9	6	16	6
Santa Rosa y Llano Largo	10	6	15	6
Biotopín	9	6	15	6
Concepción	9	6	16	5
Volcán Coxliquel	6	8	16	6
ZUM Reserva de Biósfera Maya	2	16	8	10
Luisiana	10	5	15	5
Magnolias	8	5	16	6
Pampojilá Peña Flor	6	8	15	6
San José la Colonia	7	6	15	7
Saq Ha	8	6	15	6
Chicacnab	7	6	15	6
E.C.A. Xejeju	5	8	15	6
El Bosque	7	5	16	6
El Recuerdo	7	3	17	7
Finca Rústica Chimel	7	3	17	7
K'antí Shul	6	5	15	8
Las Victorias	7	6	15	6
Montaña Larga	7	5	15	7
Pachuj	6	8	14	6
Astillero Municipal de Tecpán	5	6	16	6
Cataljé o Sacataljé	7	4	16	6
Chelemha	6	5	15	7
Chinajux	6	5	15	7
Chinajux y Sechinaux	6	5	15	7
Grutas de Lanquín	7	4	15	7
Hacienda Pastores	8	6	14	5
Iximché	5	6	16	6
La Joya	9	5	14	5
Los Laureles	5	6	16	6
Molino Helvetia	5	6	16	6
Pastores	8	6	14	5
Peña de Angel	9	5	14	5
San Sebastian	4	8	16	5
Volcán Acatenango	4	8	16	5
ZA Reserva de Biósfera Maya	2	15	6	10
El Naranjo	8	6	14	4
El Vesubio	4	7	15	6
Finca La Gloria	9	3	16	4

Volcán Agua	4	7	16	5
Volcán Fuego	5	7	15	5
Xecanac	5	5	16	6
Finca la Travesía	3	7	16	5
Lote "9"	6	3	16	6
Lote 10	6	3	16	6
Milán y Anexos	5	6	15	5
Montserrate	3	8	15	5
Santa Catalina y Anexo Joya Carbonera	3	7	16	5
Finca Asturias	4	5	15	6
La Soledad y Anexos	4	8	14	4
Laguna Chichoj	5	4	16	5
Los Andes	4	6	15	5
Riscos de Momostenango	3	5	16	6
Todos Santos Cuchumatán	3	3	16	8
Chusita	4	6	14	5
La Igualdad	6	5	13	5
Lote 11	6	2	16	5
Lote 8	6	2	15	6
Mirador - Río Azul	1	10	8	10
Mirador-Río Azul	1	10	8	10
San Isidro	6	2	16	5
San Miguel La Palotada - El Zotz	1	12	8	8
San Rafael Pixcayá	3	5	16	5
Santa Rosalía	9	1	14	5
Astillero la Cumbre El Jute y el Platanar	3	4	16	5
Cordillera Alux	3	4	16	5
Laguna Lachuá	4	4	15	5
Los Aposentos	3	5	15	5
Lote 6	5	2	15	6
Zona de Amortiguamiento Reserva de Biosfera Maya	1	13	5	9
Astillero Cerro Nimachay	2	4	16	5
Astillero Sunpango El Rejon Chirres y Los Encuentros	2	4	16	5
Concepción Chuitó	3	4	15	5
La Vega del Zope	4	3	16	4
Los Trrales	4	6	14	3
Naachtún - Dos Lagunas	1	8	8	10
Naachtún Dos Lagunas	1	8	8	10
Tikal	1	10	8	8
Zona de Uso Múltiple Reserva de Biosfera Maya	1	8	8	10
El Porvenir	3	4	15	4

Manila	5	4	12	5
Naciones Unidas	2	4	15	5
Ona	7	4	12	3
San Francisco de Asis	3	4	15	4
San José Yalu	2	5	15	4
Semuc Champey	5	5	10	6
Volcán Pacaya	3	7	14	2
Chagüite Fraijanes	3	4	15	3
Corral Viejo	3	3	14	5
El Retiro	3	6	13	3
El Zapote	3	6	13	3
Finca Tarrales	3	6	13	3
Los Castaños	4	5	14	2
Retiro	3	6	13	3
Yaxhá - Nakúm - Naranjo	2	8	7	8
El Barretal	3	6	13	2
Laguna de Ayarza	3	4	13	4
Los Castaños 1	4	5	13	2
Sierra de Santa Cruz	12	4	3	5
Buenos Aires I	1	9	5	8
Buenos Aires II	1	9	5	8
El Reformador	4	5	9	5
Plancha de Piedra	1	8	6	8
Volcán Alzatate	3	3	13	4
ZA complejo III APSP	1	11	4	7
Cascadas de Tatasirire	2	3	13	4
Laguna del Tigre	1	7	8	6
Medio Día	5	2	12	3
Zona de Amortiguamiento Complejo III APSP	0	11	4	7
Buenos Aires	5	2	11	3
Cerro Cahuí	1	8	5	7
El Pilar	1	7	6	7
Laguna Yolnabaj	2	7	7	5
Montañas Mayas Chiquibul	0	11	4	6
Trifinio	4	4	10	3
Finca Los Andes	2	4	12	2
Finca Monte María	1	7	5	7
La Democracia	1	7	5	7
Montañas Mayas	0	10	4	6
Volcán Cerro Redondo	2	6	11	1
Volcán Jumaytepeque	2	5	12	1
Yaxhá	1	6	6	7

Chibilan Esquina	3	1	11	4
Finca AA	1	7	5	6
Finca La Bohemia	3	2	11	3
Finca Los Chultunes I	1	8	4	6
Finca Rincon Grande	2	3	12	2
Laguna El Pino	1	6	11	1
Laguna el Pino	1	6	11	1
Los Cerritos - El Postezuelo	2	3	12	2
Sacpeten	1	7	5	6
Sierra Caral	10	2	4	3
Sierra Chinajá	2	4	8	5
ZA Complejos I Y II APSP	1	10	3	5
Zona de Amortiguamiento Complejos I y II APSP	1	10	3	5
Cerro San Gil	9	2	3	4
Finca Patrocinio	3	2	10	3
Nueva Juventud	1	8	4	5
Finca Los Chultunes I	1	7	3	6
Cumbre Alta	6	1	7	3
El Cibal	1	7	3	6
El Pollo	1	7	3	6
Finca Los Chultunes II	1	7	3	6
Ranchito Alegre	1	7	3	6
Santa Elena y Anexos	2	2	10	3
Sierra del Lacandón	1	7	4	5
Volcán Quetzaltepeque	3	3	9	2
Chabiland Cerro	1	1	10	4
Chajmaik	3	1	8	4
El Espino	1	3	11	1
Finca Nitún	1	7	3	5
La Caridad	1	7	3	5
La Ponderora	1	7	3	5
Laguna del Tigre - Río Escondido	0	5	6	5
Sacbaquecán	1	7	3	5
San Agustín Chahal	3	4	4	5
San Lucas Secanté	3	4	4	5
Santa Isabel	2	3	10	1
Finca Los Cedros	3	2	9	1
Laguna Perdida	1	6	4	4
Las Conchas	2	4	4	5
Las Maravillas	1	2	11	1
Maravillas	1	2	11	1
Volcán Jumay	3	2	8	2

Abaj Takalik	2	1	9	2
Chuna'a	0	7	3	4
Cuevas El Tecolote	0	7	3	4
Dolores Hidalgo	2	1	9	2
El Chicozapote	0	7	3	4
El Mirador	0	7	3	4
El Risco	1	4	7	2
El Roble	1	4	7	2
Finca Chaca	0	7	3	4
Finca Los Tarros	0	7	3	4
Najochón	0	7	3	4
Río Sarstun	3	3	3	5
San Román	1	6	2	5
Volcán Tahual	2	1	8	3
Volcán Tecuamburro	3	2	8	1
El Copoito	0	6	3	4
El Pucté	0	6	3	4
Entre Ríos	2	4	2	5
Las Palmas	4	3	2	4
Montaña Espíritu Santo	4	1	5	3
Reserva Santuario de las Aves	7	1	2	3
Sabana del Sos	0	6	3	4
Selempin	3	1	5	4
Venus Verdoso	0	6	3	4
Volcán Amayo	2	1	9	1
ZA Complejo IV APSP	0	6	2	5
Zona de Amortiguamiento Complejo IV APSP	0	6	2	5
Aguateca	0	5	2	5
Ceibal	0	6	2	4
Chajumpec	1	4	2	5
Chocón 1	3	3	2	4
Chocón Machacas	3	3	2	4
El Bejucal	2	1	8	1
El Rosario	0	6	2	4
El Vivero	0	5	2	5
Finca San José	0	5	3	4
Ixtutz	0	5	2	5
La ENEA	0	5	2	5
La Unión	3	1	7	1
Los Hornos	4	0	4	4
María del Mar	2	1	9	0
Matriz Chocón	3	3	2	4

Petexbatún	0	5	2	5
Quebrada Azul	3	3	2	4
Quebrada Seca	4	2	2	4
Río Azul	3	3	2	4
Río Bonito	4	2	2	4
Sacul-Ha	0	5	2	5
Santa Rosita	0	5	3	4
Zavala	3	3	2	4
El Pujol fracion B	4	2	1	4
Bandurria	2	0	9	0
Bocas del Polochic	1	2	4	4
Candilejas	3	3	1	4
Ceibo Mocho Flor de la Pasión	0	4	2	5
Cástulo	3	3	1	4
Dos Pilas	0	5	2	4
Doña Chanita Flor de la Pasión	0	4	2	5
La Cumbre Flor de la Pasión	0	4	2	5
La Palmilla	4	2	1	4
Las Cuevas	3	3	1	4
Machaquilá	0	4	2	5
Pataxte	4	2	1	4
Río Zarco Chiquito	3	2	2	4
Xutilhá	0	4	2	5
Chocón 6	3	2	1	4
El Higuerito	2	2	2	4
Río Dulce	2	2	2	4
Santa Rosa	3	2	1	4
Volcán y Laguna de Ipala	4	2	2	2
Finca Pujol fraccion E	3	0	2	4
Antigua Estancia de los Leones	0	3	5	1
Cuevas del Silvino	2	2	2	3
El Pujol fraccion C	3	1	1	4
Lago de Güija	3	1	2	3
Montaña Chiclera	2	2	1	4
Monte Alto	0	3	5	1
Punta de Manabique	2	2	2	3
San José Tierra Linda	2	0	4	3
Volcán El Tobón	3	2	3	1
Dulce Nombre	3	1	3	1
El Setal	1	2	1	4
Los Alpes	0	3	4	1
Volcán Cruz Quemada	2	1	4	1
Volcán Ixtepeque	2	1	2	3

Santa Elena	0	1	2	4
Tapón Creek	0	2	2	3
Volcán Suchitán	2	0	3	2
Bahía de Santo Tomás	0	1	2	3
Volcán Chingo	2	1	1	2
Volcán Las Víboras	2	1	1	2
Cerro de Jesús	1	2	1	1
Hacienda Los Jose Luises	1	2	1	1
La Aventura	3	0	1	1
Las Flores	1	0	2	2
Volcán Culma	2	0	2	1
Volcán Moyuta	3	0	1	1
Cerro Miramundo	1	1	1	1
Finca Fernando Paiz	0	2	1	1
Quiriguá	0	0	1	3
Lo de China	1	0	1	1
Niño Dormido	1	0	1	1
Canaima	1	0	0	0
La Chorrera - Manchón Guamuchal	1	0	0	0
Manchón Guamuchal	1	0	0	0
Monterrico	1	0	0	0
Sipacate - Naranja	1	0	0	0

7.6.3 Porcentaje de protección

En el cuadro No. 6 se presentan los porcentajes de protección de cada uno de los grupos taxonómicos analizados dentro del estudio. El dato de protección más alto está dado para los reptiles (43.39%), mientras que los anfibios son el grupo menos protegido dentro del SIGAP (25.07%).

Cuadro 6. Porcentaje de protección por grupo taxonómico de las especies endémicas presentes en Guatemala.

Grupo Taxonómico	Porcentaje de distribución dentro de Guatemala	Porcentaje de distribución dentro del SIGAP
Anfibios	39.53	25.07
Reptiles	15.23	43.39
Mamíferos	23.79	41.89
Aves	26.89	29.03

7.7 Análisis de de variables predictoras de la biodiversidad

Utilizando el criterio de evaluación de Akaike se obtuvo un modelo con cinco variables predictoras el cual describe de manera general la distribución de especies de vertebrados endémicos en Guatemala (cuadro 7). El modelo obtenido fue:

$$n = e^{[4.003 - 5.48e^{-3}(Bio5) + 5.25e^{-3}(Bio6) - 1.47e^{-4}(Bio12) + 1.3e^{-3}(Bio14) - 5.72e^{-5}(Topo)]}$$

Donde:

n = riqueza de especies endémicas

Bio5 = Temperatura máxima

Bio6 = Temperatura mínima

Bio12 = Precipitación anual

Bio14 = Precipitación mínima

Topo = Índice topográfico

Cuadro 7. Coeficientes y significancia de las variables predictoras de la riqueza de vertebrados endémicos:

	Estimado	Error Estándar	valor z	Pr(> z)
(Intercepto)	4.003	2.541e-02	157.514	< 2e-16 ***
BIO 5	-5.486e-03	1.039e-04	-52.783	< 2e-16 ***
BIO 6	5.278e-03	1.123e-04	47.022	< 2e-16 ***
BIO 12	-1.471e-04	1.444e-05	-10.184	< 2e-16 ***
BIO 14	1.310e-03	1.574e-04	8.324	< 2e-16 ***
Topo	-5.723e-05	8.513e-06	-6.723	1.78e-11 ***

Signif. codigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

En el modelo construido, se obtuvo una devianza nula de 113201 (16664 g.l.), y una devianza residual de 109092 (16657 g.l.), lo cual nos indica un desempeño relativamente pobre del modelo construido (figura 16).

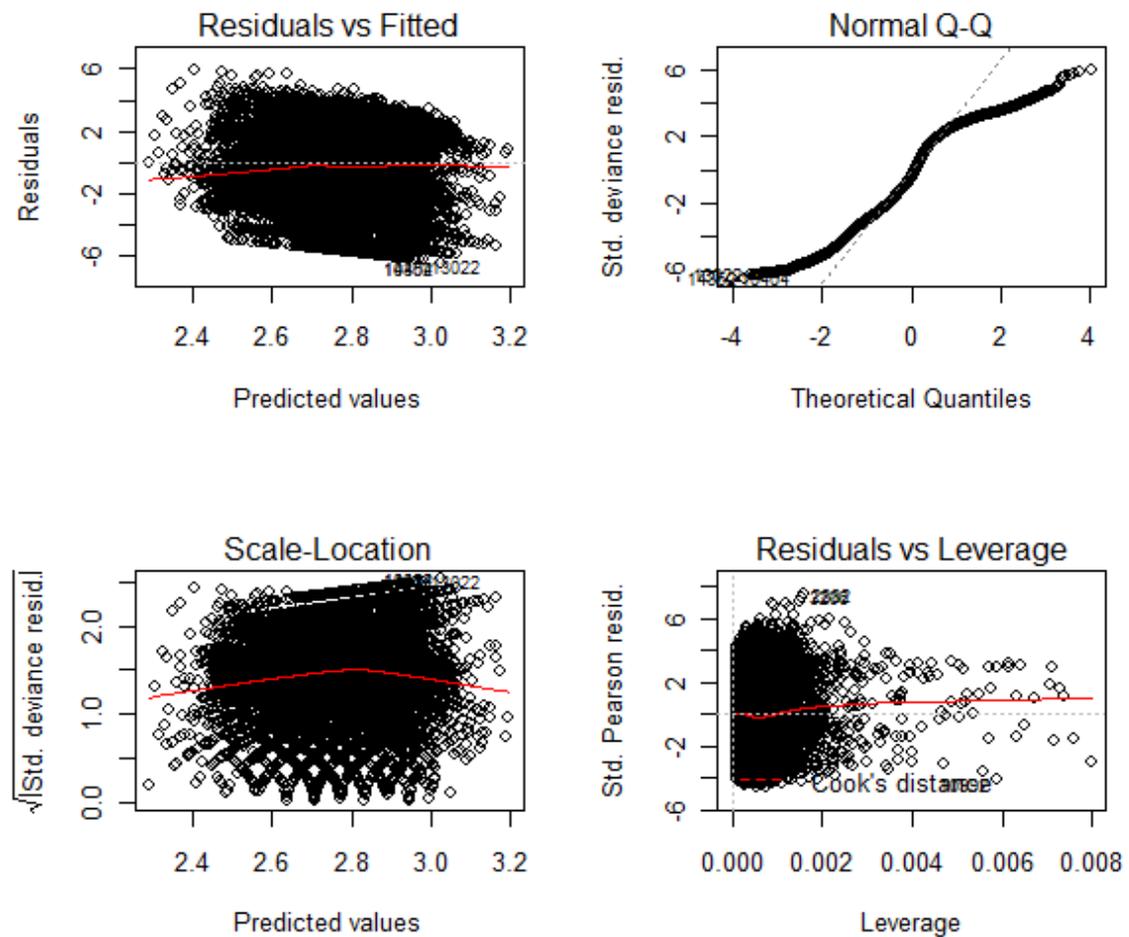


Figura 16. Representación gráfica del desempeño del modelo, donde se comparan los valores residuales frente a los predichos.

7.8 Regionalización faunística de Guatemala

El análisis de parsimonia considerando la evidencia total disponible produjo un único cladograma más parsimonioso el cual se resume en la figura No. 17. Este cladograma presenta dos clados mayores en Guatemala: 1) Valles secos, Boca Costa, y Altiplano; y 2) Petenera, Montañosa central y Yucatánica. La provincia Costera del Pacífico se separa muy inicialmente del resto de provincias, en parte a que se encuentran especies endémicas, ya que los modelos de hábitat están basados en condiciones actuales, y en dicha zona se ha perdido casi completamente la cobertura vegetal original. Los cuales en forma espacial se presentan en la figura No. 18. En adición se detectaron, otros grupos menores, contenidos en los clados anteriores más consistentes, por ejemplo la Provincia

Montañosa Central está compuesta de tres subprovincias ligeramente diferenciadas: Lacandona, Altos de Chiapas y Verapaces. La Provincia de Valles Secos también posee al menos dos subprovincias, la depresión central de Chiapas y la Salvadoreña, además de estar intercalada en pequeñas áreas dentro de otras provincias (ej. El Valle del Motagua dentro de la Provincia Montañosa Central). Finalmente, la Provincia Yucatanica está dividida en dos subprovincias, la del sur denominada Maya y la del norte Yucateca. Estas regionalización concuerda bastante con los gradientes de elevación y humedad observados en la región, los cuales tienen un impacto directo en las asociaciones vegetales y por ende en los hábitats para los vertebrados estudiados.

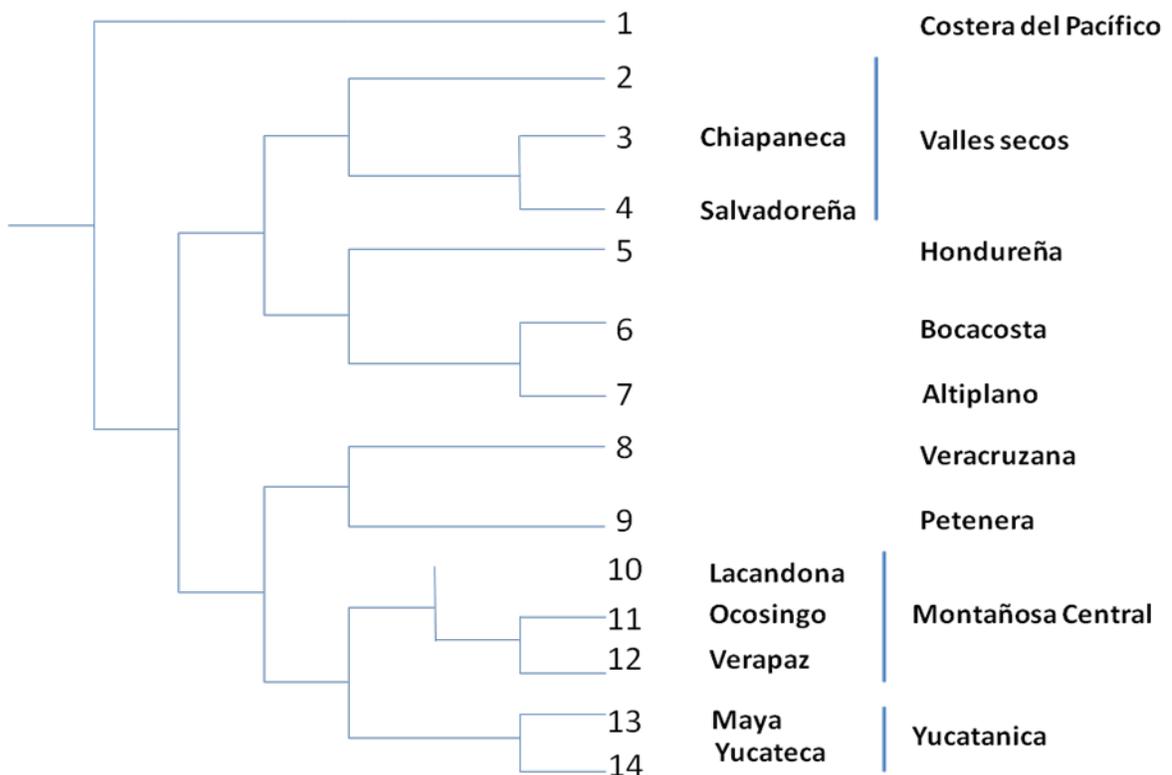


Figura 17. Hipótesis cladística acerca de la clasificación de las regiones biogeográficas guatemaltecas.

Basados en este análisis, se propone clasificar las provincias biogeográficas guatemaltecas pertenecientes a la Región Neotropical, Subregión Caribe y está conformada por las siguientes siete provincias faunísticas: Provincia Yucatanica,

Provincia Petenera, Provincia Montañosa Central, Provincia Altiplano, Provincia Bocacosta, Provincia Valles Secos y Provincia Costera del Pacífico.

7.8.1 Descripción de las provincias faunísticas

i. Provincia Yucatánica

Está compuesta principalmente por bosque húmedo subtropical y distintos humedales (MAGA 2002). Se caracteriza por una marcada estacionalidad en las lluvias y por la limitada disponibilidad de cuerpos de agua permanentes. Mucha de esta región se encuentra sobre suelos calizos denominados karst. Como muchos otros bosques en karst, esta región presenta muchas especies endémicas. Las especies exclusivas en esta región son: *Dipsas brevifacies*, *Symphimus mayae*, *Otonyctomys hattii*, *Sibon sanniola*, *Cryptotis mayensis*, *Amazona xantholora*, *Nyctiphrynus yucatanicus*, *Mazama pandora*, *Tantillita canula*, *Tripriion petasatus*.

ii. Provincia Petenera

Sus características son similares a la provincia Costera del Pacífico, con la diferencia que recibe mucha más precipitación. Presenta un gradiente de humedad de mayor a menor hacia el norte. Está compuesta por bosques muy húmedos subtropicales cálidos (MAGA 2002). Por la influencia de la provincia Montañosa Central y Yucatanica, no presenta fauna endémica exclusiva, y puede considerarse como una zona de transición entre ambas. La provincia Petenera está muy extendida desde el Golfo de México a las tierras bajas del Caribe de Honduras.

iii. Provincia Montañosa Central

Varias cadenas montañosas forman esta región fisionómicamente compleja, la cual se extiende desde las tierras altas de la selva Lacandona en México hasta la sierra de Merendón en la frontera con Honduras. Esta región está cubierta principalmente por bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bosque muy húmedo montano subtropical, bosque pluvial subtropical, bosque pluvial montano bajo subtropical y bosque húmedo subtropical templado (MAGA, 2002). La elevación excede en algunas zonas los 2,100 msnm y en algunas pendientes en

favor del viento pueden exceder los 5,000 mm de precipitación anual. Esta zona es altamente compleja en composición florística y climática. Llega a compartir su fauna con la provincia Petenera en algunas zonas. Esta provincia es rica en especies endémicas, entre las que se encuentran: *Craugastor myllomyllon*, *Plectrohyla teuchestes*, *Myotis cobanensis*, *Hyla bocourti*, *Craugastor daryi*, *Plectrohyla pokomchi*, *Peromyscus grandis*, *Peromyscus zarhynchus*.

iv. Provincia Altiplano

La provincial del altiplano esta bordeada al oeste por la cadena volcánica y al este es extremadamente irregular, resultado de estar seccionada por numerosos valles de ríos que drenan hacia el Caribe. Corre a lo largo de las tierras altas desde los Altos de Chiapas hasta Honduras en el sur. La mayoría de su área se encuentra sobre los 1,500 msnm, pero hacia Honduras se vuelve más baja. Se encuentra completamente formada de material ígneo y está rodeada por sierras no volcánicas que exceden los 3,000 msnm. La parte subtropical es semiárida. Desde muy antiguamente ha estado ocupada por humanos, lo que ha dejado muy poco de la cobertura original, pero gran parte de esta provincia estuvo cubierta de bosques de pino y pino-encino. Las partes más bajas del este probablemente estaban cubiertas de sabanas y áreas de pino. Las crestas de las cadenas no volcánicas son templadas y muy húmedas, y son adecuadas para los bosques de pino-ciprés. Las zonas de vida principales son el bosque húmedo montano bajo subtropical, bosque húmedo subtropical templado, bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bosque húmedo y muy húmedo montano subtropical. Esta provincia es rica en especies endémicas, entre las características exclusivas se encuentran: *Craugastor nefrens*, *Craugastor matudai*, *Plectrohyla tecunumani*, *Peromyscus mayensis*, *Bolitoglossa dunnii*, *Bolitoglossa conanti*, *Craugastor greggi*, *Heteromys nelsoni*, *Geophis cancellatus*, *Bolitoglossa cuchumatana*, *Rhadinaea hannsteini*, *Rhadinaea lachrymans*, *Sceloporus smaragdinus*, *Plectrohyla glandulosa*.

v. Provincia Bocacosta

Esta provincia se extiende paralela a la costa del Océano Pacífico desde el sur de México hasta El Salvador. Se encuentra en la cara oeste de la cadena volcánica, su límite se encuentre entre 600 y 1,500 msnm, donde se traslapa con la provincia Costera del Pacífico. Esta región recibe abundante precipitación y se caracteriza por presentar elevaciones abruptas a partir de las tierras bajas adyacentes. En bajas elevaciones se encuentra bosque muy húmedo subtropical cálido y a elevaciones superiores bosque muy húmedo montano bajo subtropical (MAGA 2002). La precipitación es mayor hacia el oeste. Muchas especies vegetales adaptadas a los bosques húmedos se comparten con las partes húmedas de la vertiente del Caribe. Esta región es rica en especies endémicas de las cuales se incluyen: *Incilius canaliferus*, *Exerodonta perkinsi*, *Ptychohyala dendrophasma*, *Tantilla tayrae*, *Abronia matudai*, *Craugastor stuarti*, *Plectrohyla avia* *Bothriechis bicolor* son exclusivas para esta provincia.

vi. Provincia Valles Secos

Esta región incluye la depresión central de Chiapas, el valle del Río Motagua, del Río Grijalva, el Valle de Salamá y varios valles interiores en Jalapa, Chiquimula y El Salvador. Estos han sido reconocidos como importantes corredores de especies adaptadas a climas xéricos (Stuart 1954). La altitud en estos valles tiende a ser baja, entre los 100 y 1,000 msnm. Entre la vegetación característica se encuentra, Monte espinoso subtropical, bosques seco tropical y subtropical (MAGA, 2002). Entre las especies endémicas exclusivas de esta provincia se encuentran: *Craugastor adamastus*, *Aspidoscelis motaguae*, *Heloderma horridum*.

vii. Provincia Costera del Pacífico

Incluye enteramente la planicie costera del pacífico y las pendientes inferiores de la cadena volcánica quizá hasta la base de la “zona de cafetal” como sugiere Stuart (1943). Esta región está caracterizada por lluvias muy estacionales y altas temperaturas durante todo el año. La vegetación está compuesta principalmente por bosques muy húmedos subtropicales cálidos y bosque seco tropical (MAGA

2002). Originalmente consistía en una mezcla de sabanas y bosques semidecíduos.

Nuestros resultados concuerdan parcialmente con algunas clasificaciones recientes hechas en México (Escalante *et al.* 2007). Análogo a lo propuesto por Rzedowski (1978), las provincias Montañosa Central y Bocacosta, según algunos autores, podrían clasificarse como de transición entre la región Neártica y Neotropical, sin embargo la influencia Neártica en Guatemala es ya bastante limitada en comparación con las zonas montañosas más al norte en México. Según Stuart (1943, 1954), Guatemala esta dividida en ocho regiones faunísticas; las cuales fueron propuestas en base a la distribución de salamandras. Posteriormente Campbell & Vannini (1989) modificaron estas regiones, las cuales fueron divididas para explicar la distribución de la herpetofauna de Guatemala. Las regiones aquí propuestas para los cuatro taxa corresponden muy bien con las más generales propuestas por Stuart (1954). Consideramos estas como aun preliminares ya que están basados en relativamente pocos taxa, pero son bastantes consistentes con patrones observados en áreas adyacentes (Escalante *et al.* 2007) y coincide con clasificaciones previas (figura 18; cuadro 8).

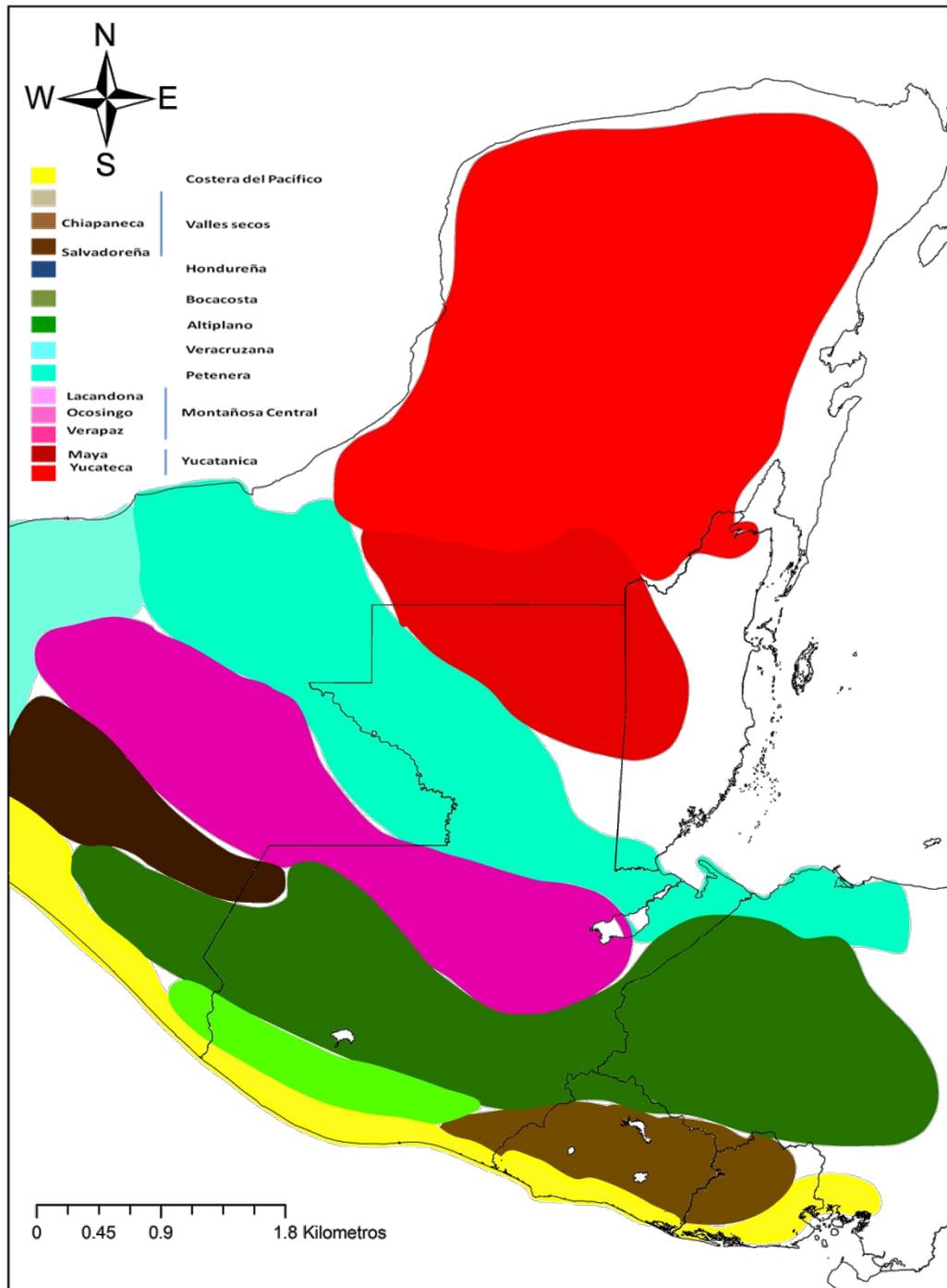


Figura 18. Localización geográfica de las provincias biogeograficas identificadas con PAE.

Cuadro 8. Provincias biogeográficas con sus taxa característicos. Se identificaron dos regiones que carecen de especies característicos: Costera del Pacífico, y Petenera. Las siguientes cinco provincias tienen al menos un taxón que está restringido a esta.

Bocacosta

Incilius canaliferus, Exerodonta perkinsi, Ptychohyla dendrophasma, Tantilla tayrae, Abronia matudai, Craugastor stuarti, Plectrohyla avia Bothriechis bicolor

Valles Secos

Craugastor adamastus, Aspidoscelis motaguae, Heloderma horridum

Montañosa Central

Craugastor myllomyllon, Plectrohyla teuchestes, Myotis cobanensis, Hyla bocourti, Craugastor daryi, Plectrohyla pokomchi, Peromyscus grandis, Peromyscus zarhynchus

Altiplano

Craugastor nefrens, Craugastor matudai, Plectrohyla tecunumani, Peromyscus mayensis, Bolitoglossa dunnii, Bolitoglossa conanti, Craugastor greggi, Heteromys nelsoni, Geophis cancellatus, Bolitoglossa cuchumatana, Rhadinaea hannsteini, Rhadinaea lachrymans, Sceloporus smaragdinus, Plectrohyla glandulosa

Yucatánica

Dipsas brevifacies, Symphimus mayae, Otonyctomys hattii, Sibon sanniola, Cryptotis mayensis, Amazona xantholara, Nyctiphrynus yucatanicus, Mazama pandora, Tantillita canula, Triprion petasatus

8. Discusión

Una de las características más notables de la biodiversidad es que no se distribuye de manera homogénea, por lo que los patrones espaciales de la diversidad de especies y los procesos asociados a las mismas han sido objeto de estudio desde hace mucho tiempo y desde diferentes escalas y enfoques, tales como la ecología de comunidades (e.g. Krebs 1978; Begon *et al.* 2006), la biogeografía (e.g. Rapoport 1975; Pielou 1979; Simberloff 1983; Murguía 2005) y más recientemente desde la perspectiva de la macroecología (e.g. Brown 1995; Gaston & Blackburn 2000), e integrando varios enfoques (e.g. Magurran 1988; Rosenzweig 1995). El denominador común en todos estos estudios finalmente subyace en el conocimiento de las áreas de distribución de las especies y su arreglo espacial.

En este estudio se describen los patrones geográficos de la diversidad biológica para los vertebrados terrestres endémicos de Guatemala. Desde este enfoque, uno de los indicadores de la diversidad biológica más ampliamente estudiado es el número de especies que habitan una región específica (Gaston 1996). El número de especies de un taxón superior presentes en una localidad se conoce como diversidad alfa (α). Esta ~~definición~~ ^{definición} asume que existe cierta “homogeneidad” en la localidad, de manera que α es la riqueza biológica en un determinado hábitat (Whittaker 1960, 1972). Así también, la riqueza de especies de un conjunto de localidades (el conjunto total de especies a escala regional) es la diversidad gamma (γ), es decir, representa la diversidad de un conjunto de sitios o comunidades que integran un paisaje o región (Halffter y Moreno 2005). Los conceptos de diversidad α , β y γ se han extendido a diferentes escalas y en la práctica los términos local y regional se usan en sentido relativo, de modo que la diversidad α es la riqueza a una escala de resolución más fina que la diversidad γ ; mientras que la diversidad β es la ~~relación~~ ^{relación} entre el número de especies en una región y el promedio de las diversidades ~~α~~ ^α de las localidades que contiene dicha región, y es el indicador que refleja la heterogeneidad ecológica entre las diferentes subunidades de la región. La diversidad α promedio y el componente β de la diversidad regional son dos cantidades altamente informativas, que se ven

afectadas por diferentes conjuntos de factores (Schmida & Wilson 1985; Cornell & Lawton 1992; Rodríguez *et al.* 2003), que no necesariamente se correlacionan entre sí (Orme *et al.* 2005), pero que estrictamente no se pueden separar ya que interactúan a diferentes escalas (Koleff 2002).

Es conocido que la diversidad de Guatemala es excepcional en su variedad de ecosistemas y número de especies si se contrasta con su pequeña extensión geográfica, de las cuales una alta proporción es endémica, lo que desde la perspectiva geopolítica implica que se distribuyen exclusivamente en nuestro territorio o en la región. Esta diversidad de especies forma complejos patrones espaciales que se hacen evidentes en los contrastantes cambios de vegetación y de paisajes con diferente composición de especies entre sitios relativamente cercanos. Una mejor comprensión de los patrones de distribución de las especies juega un papel esencial, no solo para los estudios básicos de ecología sino también para la conservación de las especies y sus hábitats. La alta diversidad de muchos grupos biológicos en nuestro país tiene importantes implicaciones para la biología de la conservación, el manejo y la planeación estratégica de identificación de sitios prioritarios para conservar el patrimonio biológico (Sarukhán *et al.* 1996), implica que para la conservación de una parte representativa de la biodiversidad y su complementariedad se requiere una red de APs integrada y planificada.

Patrones espaciales de riqueza de especies

Como es reconocido por autores previos, el patrón de concentración de vertebrados terrestres en Guatemala coincide con las regiones tropicales (húmedas y cálidas) del país, sin tener un claro patrón latitudinal. Cuando se observan los patrones de riqueza de especies a escalas de 0.25° (~1 km²), es evidente que el centro del país alberga un mayor número de especies (anexo 4). Sin embargo, los detalles cambian si se analizan los diferentes taxa por separado. Aunque los valores de riqueza de especies en las 719 celdas para los cuatro grupos de vertebrados terrestres se correlacionan positivamente, existen diferencias importantes en los detalles de los patrones. En general la región central-occidental del país alberga un mayor número de especies, aunque también

existe una región rica en especies en el altiplano guatemalteco. Queda claro que para este estudio, nos referimos a diversidad alfa promedio, es decir, un promedio de valores puntuales correspondientes a distintos lugares dentro de un paisaje (Halffter *et al.* 2005), que para este caso corresponde a área de $\sim 1\text{km}^2$. Sin embargo, existen diferencias importantes entre cada grupo.

Para los mamíferos, las áreas de mayor concentración de especies se encuentran en el Noroccidente (Huehuetenango) y Norte (Petén). En el caso de las aves, las regiones de mayor riqueza de especies se encuentran en el centro, en las regiones montañosas y muy pocas en las regiones bajas. Por su parte, los patrones de riqueza de especies de reptiles se ubican principalmente en el Sur Occidente (San Marcos y Quetzaltenango). Finalmente para los anfibios las regiones de mayor riqueza de especies se encuentran en las regiones altas del centro occidente y Caribe.

Las regiones con menores riquezas de especies endémicas de vertebrados terrestres se encuentran al sur del país, a lo largo de toda la costa del Pacífico (o Vertiente del Pacífico), y ciertas áreas en el oriente y nororiente del país (al sur de la Sierra de Las Minas). Este es el panorama en general, y existen algunas variaciones cuando se considera cada grupo por separado. Sin embargo, habría que considerar que la aparición de la costa sur como región con bajas tasas de diversidad alfa podría ser un artilugio, ya que no se tienen muchos registros de especies endémicas de esta región en particular para mamíferos, reptiles y aves; sin embargo es posible que este sea un patrón natural, si consideramos que la costa sur en cuanto a sus condiciones bioclimáticas y su tipo de vegetación original dominantes son bastante homogéneas desde la costa central mexicana hasta el norte de Costa Rica, por lo que se esperaría que el nivel de endemismo de dicha región sea mínimo por lo amplio en extensión de dicho ecosistema. Lamentablemente, este hecho no se ha podido comprobar debido a la extrema modificación antrópica que este sistema ha sufrido en la actualidad. El patrón similar de baja diversidad alfa en los cuatro taxa se repite a lo largo de una delgada franja paralela a la costa del Pacífico, que empieza en el sur del

departamento de San Marcos, pasando por Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa, y llega inclusive hasta Jutiapa, en la parte suroriental del país.

Las otras regiones, oriente y nororiente, se diferencian por un mayor o menor grado de área con bajos niveles de riquezas de especies, siendo más notorio en el caso de las aves y anfibios. Es interesante notar que la región denominada como oriente comprendería los departamentos de Jalapa, El Progreso, Zacapa y Chiquimula, algunos de los cuales son departamentos con el menor registro de investigación científica en cuanto a ocurrencia de especies (M. García, com. Pers.).

La diversidad beta muestra una relación inversa con la diversidad alfa de los sitios y qué tan restringidas son las áreas de distribución de las especies que las habitan (Koleff *et al.* 2008). En el caso de los vertebrados terrestres endémicos de Guatemala, la diversidad β y la diversidad α a escala de 0.25° , en cierta medida se correlacionan positivamente.

Los valores más altos de diversidad beta se observan al pasar de una zona de alta diversidad a una de baja diversidad alfa, especialmente en el caso de las zonas de montaña a las de valles, donde las comunidades faunísticas cambian fuertemente. Esto debido a que las diferencias altitudinales crean una variedad de diferentes mosaicos de hábitats (Bergl *et al.* 2007).

Aunque el valor de β estimado de esta manera no tiene límites máximos de escalamiento y depende del número total de especies consideradas (Koleff *et al.* 2003), su interpretación es evidente y muestra que los anfibios en Guatemala presentan un grado de endemismo/rareza geográfica muy superior a los otros grupos, seguidos de los reptiles y luego de los mamíferos y las aves.

El alto valor de β tiene implicaciones importantes. Un factor β alto significa que el total del territorio tiene muchas más especies que la subregión promedio (Arita y León-Paniagua 1993), lo que implica que muy pocos pixeles pueden contener proporciones altas de especies. Es decir que, las áreas de distribución de los anfibios y reptiles son más restringidas que las de mamíferos y aves, lo que indica que los reptiles y los anfibios tienen asociaciones más “estrictas” con los

biomas, lo cual es importante para entender mejor cómo se estructuran los paisajes y comunidades e implica mayores retos para su conservación.

El *pool* de especies en un conjunto de comunidades o sitios (comúnmente llamados paisaje), o diversidad γ , es la diversidad de especies a escalas mucho más grandes que las diversidades alfa o beta. Esta diversidad está estrechamente relacionada con la diversidad alfa, ligadas a través de la diversidad β (Kraft *et al.* 2011; Halffter *et al.* 2005). Algo muy importante de hacer notar, es que el *pool* de especies de un determinado paisaje o región, además de influir directamente sobre la riqueza de especies locales y su recambio, y viceversa, también se ve muy fuertemente influenciada por la historia geomorfológica y evolutiva de la biota común de la región muestreada (Halffter *et al.* 2005).

El patrón observado en Guatemala de las diversidades gamma de los vertebrados terrestres endémicos es muy característico, sigue el mismo patrón que la diversidad alfa, pero ocupando una extensión mucho mayor de celdas, o espacio geográfico, lo que evidencia la relación entre estas dos diversidades. La cual afirma que una de las posibilidades de esta relación es que el valor de la diversidad gamma no sea similar o igual al valor más alto de la diversidad alfa, sino que un valor mucho mayor (Halffter *et al.* 2005). Esto estaría indicando que una buena parte de la aportación a la diversidad gamma la estaría proporcionando la diversidad β , a través de la complementariedad.

En el anexo No. 5 se muestra que, en general, prácticamente en todas las celdas existe una proporción de especies de aves superior a las proporciones de especies de los otros grupos. Es decir, que existen regiones donde es posible encontrar hasta 60% de las aves endémicas de la región, mientras que nunca será posible encontrar más de 16% del total de las especies de anfibios. Este patrón evidencia que las áreas de distribución de reptiles y anfibios son en promedio más restringidas que las de las aves, mientras que las de los mamíferos son intermedias, lo cual tiene consecuencias importantes para la conservación. Es importante hacer notar que generalmente los taxa con distribuciones más restringidas son las que sufren mayores presiones (Bergl *et al.* 2007). Esta información sugiere que debería ser más sencillo lograr que una alta porción de la

las aves endémicas del país se conserven mediante áreas protegidas, como parques y reservas, que los anfibios y reptiles. Curiosamente no se observan mayores coincidencias en riqueza de especies proporcionales entre los taxa. A excepción de la región de Guatemala con menor riqueza de especies proporcional, de aves, que se encuentra en el valle del Motagua. Esta región muestra una buena coincidencia para los mamíferos, reptiles y anfibios. Es importante mencionar que los patrones observados de riqueza y de concentración de especies endémicas regionales, no coinciden en las mismas áreas geográficas de concentración de especies de ninguno de los grupos de vertebrados terrestres.

Los resultados obtenidos concuerdan con estudios similares llevados a cabo en otras regiones de mayor latitud, como es el caso de México (Koleff *et al.* 2008). Dado que el patrón de endemismo no coincide para los cuatro grupos, no es viable establecer diseños o planes de conservación de unos grupos a partir de los otros grupos (Kolleff *et al.* 2008). El mismo efecto puede observarse si se analizan las relaciones entre las riquezas de especies de los cuatro grupos (mediante un análisis de correlación), el cual demostró que las riquezas están mínimamente correlacionadas. Además el análisis reveló que las regiones con mayores índices de endemismo de Guatemala son aquellas que se encuentran en zonas montañosas. Este fenómeno de alto endemismo en montañas es ampliamente reconocido en la ciencia ecológica, y es un patrón resultado de múltiples eventos como, de dispersión, vicarianza, extinciones durante glaciaciones pasadas, lo que ha provocado la fragmentación de poblaciones originales en poblaciones relictas restringidas a refugios (Vásquez 2007; Ashton 2010).

Otro aspecto relevante en los patrones observados de riquezas y endemismos, es que las áreas geográficas que ocupan se corresponden unas a otras. Es decir, para los cuatro grupos de vertebrados terrestres endémicos de la región, aquellas áreas que presentan altos valores de riqueza de especies, también presentan poblaciones de especies con los valores más altos de rangos de restricción. Sin embargo, hay que mencionar que se también se mantienen

valores altos de restricción en áreas que presentan valores de riqueza de especies intermedios e inclusive, bajos

En resumen, la distribución espacial de la riqueza de especies, a 0.25° de resolución, a grandes rasgos es similar pero no idéntica entre los grupos examinados. Esto implica que ningún grupo por sí solo puede ser utilizado para identificar los sitios de mayor biodiversidad total a resoluciones de celdas individuales; sin embargo, en los agregados de celdas sí existen buenas correlaciones. El segundo resultado importante es que el elevado valor de β para reptiles y anfibios implica que por sí sola ninguna región razonablemente pequeña del territorio contiene una proporción alta de las especies endémicas regionales. En contraste, hay celdas de 0.25° que contienen hasta 60% de las especies de aves endémicas regionales. Aparentemente, en Guatemala similar que otros países megadiversos, se puede aplicar el concepto de *hotspots* (Mittermeier *et al.* 1998) más fácilmente para aves que para otros grupos. Sin embargo, incluso para estas, la conectividad entre distintos hábitats, la funcionalidad de ecosistemas a escalas grandes (Kareiva & Marvier, 2003) y los movimientos migratorios de muchas especies implican que una estrategia de conservación simple, basada solamente en *Hot spots*, no sería suficiente ni eficaz, ni siquiera para las aves de Guatemala y mucho menos para los grupos altamente β diversos.

El área *per se* no tiene influencia mayor sobre la riqueza de especies, pero sí los gradientes ambientales resultado de la compleja geografía del territorio. Dichos gradientes ambientales pronunciados que ocurren en las zonas montañosas tropicales son los principales determinantes de la mayor diversidad (Janzen 1967) la variación climática puede moldear la evolución de las tolerancias fisiológicas y, en consecuencia, determinar la resistencia topográfica a la dispersión, y así influir en su rango de distribución geográfica. De esta forma, las montañas se han considerado barreras fisiográficas, dado el cambio abrupto de condiciones climáticas entre los valles de baja altitud y las zonas de mayor altitud.

Conocer el componente β en los patrones de diversidad es de suma importancia, por las implicaciones que tiene para la conservación, porque las especies de distribución restringida usualmente son las de mayor prioridad. Por

ejemplo, en el caso de los grupos α -diversos, como las aves, y en regiones que pueden considerarse *hot spots*, las reservas de biosfera pueden ser una opción de manejo adecuada dado que suelen comprender áreas extensas con una zonificación de uso de suelo bien establecida (Halffter 1987; 1998). Por otro lado, para grupos β -diversos como los anfibios y reptiles, y en regiones de alta heterogeneidad ambiental como las cadenas montañosas centrales, sería más adecuado pensar en estrategias alternativas tales como las reservas archipiélago (Halffter 2005) o una decidida apuesta por el manejo comunitario responsable y de bajo impacto de zonas fuera de las áreas protegidas.

Efectividad ecológica del SIGAP

Los análisis efectuados demuestran que las APs se complementan para mantener y resguardar a más del 90% de las especies endémicas terrestres incluidas en el presente estudio, sugiriendo que el SIGAP actualmente está cumpliendo con los objetivos y funciones por los cuales originalmente fue creado. Aunque hay que tomar en cuenta que dicho análisis solamente considera la presencia de las especies y no el área mínima necesaria para que se mantengan.

De igual forma, a través del análisis de complementariedad se identificaron APs específicas que son importantes y que deben ser tomadas como prioritarias dentro de las estrategias y acciones de manejo que se establezcan para todo el sistema. Tal es el caso de la Sierra de las Minas, Sierra de los Cuchumatanes, Volcán Tajumulco y Volcán Tacaná que en conjunto se complementan para cubrir a más del 30% de las especies endémicas estudiadas, evidenciando su importancia y función dentro del SIGAP. Esto se refuerza si tomamos en cuenta que estas áreas (conjuntamente con la Reserva Privada Las Nubes) son las que cuentan con el mayor número de especies endémicas dentro de sus límites. Esto establece que estas cuatro APs contienen un número alto y diferente de especies endémicas en el país, por lo que se les puede considerar como posibles sitios o espacios de endemismo.

Sin embargo, y a pesar de que el SIGAP muestra un gran nivel de complementariedad, se puede dudar de la efectividad del SIGAP al no cubrir la

distribución de todas las especies endémicas estudiadas. El análisis *gap* realizado demuestra que son 15 especies endémicas en total las que no se encuentran cubiertas por el SIGAP, resaltando la presencia en esta lista de cinco especies con distribución exclusiva en Guatemala (*Craugastor myllomyllon*, *Exerodonta perkinsi*, *Plectrohyla teuchestes*, *Ptychohyla dendrophasma*, *Ptychohyla macrotympanum*). Es indudable que uno de los criterios fundamentales y bases dentro del SIGAP, debe ser el mantenimiento y resguardo de las especies con una distribución restringida y exclusiva para el país, por lo que es necesario que cada una de las especies endémicas presentes se encuentre en al menos una de las APs para sugerir que el proceso está cumpliendo con sus objetivos primordiales de conservación. Esto principalmente si tomamos en cuenta que estas especies están más propensas a procesos de extinción en comparación con las que se distribuyen más extensamente (Lawton 1993).

Existen tres implicaciones directas a partir del análisis de complementariedad realizado, (1) es necesario priorizar recursos y esfuerzos para establecer e implementar estrategias de manejo específicas en las APs que mejor se complementan, para asegurar la conservación de las especies. Además se debe verificar el estado actual de las 70 APs definidas dentro del análisis, para determinar su permanencia y funcionalidad a largo plazo; (2) definir nuevas APs (o analizar estrategias de conservación que se puedan adecuar) para cubrir la distribución de todas las especies endémicas presentes, logrando que el SIGAP se complemente en un 100%. El análisis efectuado debe considerarse una guía más en la decisión y designación de nuevos espacios de conservación en el país; (3) Cabe mencionar que registrar una especie como presente o ausente dentro de un AP específica no necesariamente implica que este protegida adecuadamente. Monitoreos y evaluaciones realizados a algunas de las APs del país, demuestran que la efectividad de manejo se encuentra en una escala regular, impidiendo que las áreas cumplan a cabalidad los objetivos de conservación para los que fueron creadas (CONAP 2010).

Dentro de este contexto, también se debe analizar si los espacios protegidos verdaderamente responden a las necesidades de conservación del

país o si la estructura del SIGAP fue originalmente establecida bajo otros principios u objetivos un poco más arbitrarios y oportunistas. Los resultados obtenidos dentro de este estudio sugiere que existen fuertes vacíos de conservación al dejar afuera del sistema sitios con altos valores de diversidad para las especies endémicas estudiadas. Esto implica que muchas de las APs no están localizadas en los mejores sitios para la protección de la diversidad biológica, existiendo una relación negativa entre las áreas protegidas y la distribución de las especies. Como consecuencia, parte de las especies endémicas terrestres del país se distribuyen afuera de los límites de protección del SIGAP, teniendo una vulnerabilidad mayor ante los impactos y amenazas existentes (Bruner *et al.* 2001; Vazquez y Valenzuela-Galván 2009; CONAP 2010). Además, hay que tomar en cuenta que muchas de las especies endémicas que si están presentes dentro de alguna AP, cuentan con menos del 25% de su distribución total dentro del SIGAP (77 especies de un total de 154), por lo que su mantenimiento y conservación a largo plazo de ninguna forma está asegurado.

En Guatemala se han realizado varios esfuerzos para identificar vacíos de conservación dentro del SIGAP, sin embargo los análisis establecidos no contemplan (en la mayoría de los casos) la distribución y diversidad de las especies endémicas presentes. Esto justificado principalmente a la escasa disponibilidad de información y por discrepancias en cuanto a la definición del concepto de endemismo (URL-IIA 2004; Jolon-Morales 2006a,b; CONAP 2010). Esto es preocupante porque de alguna forma las decisiones que actualmente se pueden estar concretando a cualquier nivel, no toman en cuenta la distribución de las especies endémicas presentes en el país (las cuales debieran de tener una mayor prioridad de conservación). Como se analizó en este mismo estudio, la diversidad de las especies de vertebrados terrestres de distribución más amplia, no presenta la misma dinámica que la diversidad mostrada por las especies endémicas. Por lo que las estrategias de conservación no debieran ser las mismas para ambos casos.

Sin embargo y afortunadamente, los esfuerzos realizados concuerdan con los resultados obtenidos dentro del presente estudio, definiendo la necesidad de

incluir áreas u otros sistemas de conservación dentro del SIGAP para asegurar la efectividad del proceso. De igual forma, esfuerzos anteriores han identificado y priorizado sitios importantes con altos valores de diversidad en los departamentos de Huehuetenango, Quiché, San Marcos y Quetzaltenango (URL-IIA 2004; CONAP 2010), resultados que concuerdan con el presente estudio. Aunque para este caso específicamente, también se demuestra la importancia en sitios presentes en las Verapaces.

El fin último en términos de representatividad es reconocer que es necesario que todas las especies endémicas presentes en el país estén cubiertas por el SIGAP, es decir que la distribución de cada una de las especies se encuentre delimitada en al menos un AP del sistema (Vázquez y Valenzuela-Galván 2009). Esto implica crear actuaciones de conservación adaptados a nuevas situaciones, y que el crecimiento del sistema se enfoque a mejorar la efectividad del manejo, en lugar de responder a eventos arbitrarios y oportunistas (Elbers 2011). Además conjuntamente con el incremento del número y extensión de las áreas protegidas, es necesario asegurar los recursos e insumos (principalmente económicos) que establezcan directrices de administración y manejo adecuadas en los nuevos escenarios.

Del mismo modo, al momento de plantear la posibilidad de aumentar el número de espacios protegidos dentro del país, se debe tomar en cuenta las particularidades específicas para cada uno de los grupos taxonómicos. Aunque los análisis de diversidad establecidos dentro del presente estudio demuestran ciertas similitudes entre los grupos, hay procesos específicos que se deben de tomar en cuenta al momento de tomar las decisiones. Por ejemplo dentro de los análisis de cobertura establecidos, se evidencio que los anfibios son el grupo de los vertebrados terrestres menos representados dentro del SIGAP (solamente el 25.07% de la distribución de todos los anfibios endémicos del país). Esto puede explicarse a partir de dos puntos: (1) la distribución de este grupo es mucho más restringida, ocupando extensiones de terreno más pequeñas y particulares que los otros grupos; y (2) el SIGAP puede responder de una mejor forma a las especies con distribución más general, por contar en su estructura original con APs grandes

y acumuladas en una misma región o tipo de hábitat (CONAP 2010). Por lo que para este caso, además de contemplar el aumento de las APs, también se debe considerar que la estructura y disposición dentro del sistema sea funcional y adecuada.

Los análisis de representatividad son un insumo que se debe tomar en cuenta al momento de tomar decisiones y establecer nuevas estrategias de conservación en el país. A partir de la identificación y priorización de sitios específicos se pueden destinar recursos y esfuerzos que promuevan el resguardo de especies claves y vulnerables, incrementando la efectividad del SIGAP. De tal cuenta los entes y personas encargados de tomar las decisiones (principalmente a nivel de Estado) tienen el compromiso de que todos los aportes sean utilizados para lograr el fortalecimiento del SIGAP, según lo establecido en el Programa de Trabajo en Áreas Protegidas del CDB (CONAP 2010).

Un último aspecto a tomar en cuenta, es que se deben realizar evaluaciones en cada una de las áreas identificadas como prioritarias y de importancia, para verificar el riesgo ante la presencia de presiones y amenazas principalmente causadas por la actividad humana. Se reconoce que muchas de estas áreas se encuentran muy próximas a grandes centros urbanos lo cual dificulta la viabilidad y permanencia de las especies a largo plazo (Vázquez & Gaston 2006; CONAP 2010). Con esto se podrá deducir si la implementación de nuevas APs es la mejor opción o si se deben abordar diferentes estrategias de conservación específicas para estos lugares

Más allá de la distribución de las especies endémicas dentro del área de estudio, varios resultados son de interés especial. Ninguno de los cuadrantes carece de al menos una especie endémica, pero muy pocos (~3%) cuadrantes poseen más de 30 especies endémicas. El análisis más detallado evidencia un alto grado de traslape entre las diferentes áreas endémicas (regiones faunísticas) lo que dificulta su delimitación. Por otra parte los taxa seleccionados pueden estar severamente perturbados, tal es el caso en la región de la costa sur. No se observó ninguna tendencia latitudinal en la distribución de las especies endémicas, aunque se exhibe un patrón en el que las áreas de endemismo

coinciden con las tres principales cadenas montañosas (Cuchumatanes, Volcánica, y de las Minas), un patrón similar se ha observado en la Península Ibérica (Lobo *et al.* 2001). Este patrón puede estar explicado por diversos factores incluyendo, la persistencia de bosques húmedos en periodos glaciales, o el papel de áreas montañosas como corredores durante periodos de cambios climáticos (Schuster *et al.* 2000).

Ya que las áreas de endemidad identificadas, coinciden con sectores montañosos, puede ser de interés para las políticas de conservación, puesto que generalmente las regiones menos perturbadas están localizadas en las cadenas montañosas (a excepción de la Reserva de Biosfera Maya). Los resultados acá expuestos son de interés para la biogeografía de Mesoamérica a gran escala, facilitando la selección de áreas de endemismo para propósitos operativos. Sin embargo, varias de las áreas de endemismo son relativamente pequeñas y se traslapan con áreas de endemismo vecinas. Por lo que, el adoptar unidades de área muy grandes como “Mesoamérica nuclear” o Mesoamérica norte” para análisis históricos a escalas geográficas más amplias puede ser riesgoso, ya que dicha área realmente está compuesta por sectores de naturaleza heterogénea. La distribución de las áreas de endemismo, así como el resultado de la regionalización coinciden con regionalizaciones independientes, principalmente herpetofauna, insectos y plantas, realizados previamente. El análisis de parsimonia de endemismos es una herramienta valiosa para identificar áreas designadas por especies con distribuciones congruentes, pero los resultados no tienen implicaciones históricas directas (ya que no se incorpora información filogenética).

Los gráficos de evaluación del modelo así como los valores de devianza residual, indican que el ajuste del modelo no es optimo, mas bien, presenta un bajo valor predictivo. Es decir, que las variables utilizadas, por si solas no son capaces de explicar de manera satisfactoria la distribución de la riqueza de vertebrados endémicos observada. Sin embargo, un resultado positivo obtenido a través de este análisis es que se pueden identificar las principales variables ambientales (entre las modeladas) que mejor explican la distribución observada.

En este caso son, las temperaturas máximas y mínimas, y los valores de precipitación mínimo. Además nos indican el tipo de relación de estas variables con la riqueza, en este caso, a menor temperatura y mayor precipitación se observan los valores más altos de riqueza.

Sin duda, los patrones de distribución de la biodiversidad descritos proporcionan información valiosa, y una línea a futuro es corroborar cómo se correlacionan con las variables climáticas y energéticas, que han documentado claras asociaciones del número de especies con variables relacionadas con la cantidad de energía y agua disponible. Exploratoriamente, al modelar las relaciones entre factores fisiográficos o climatológicos con las medidas de riqueza promedio de las especies endémicas de cada área, se observa la fuerte relación con climas templados y muy húmedos. Estos hallazgos coinciden con lo sugerido por Hawkins & otros autores (2003), que la energía ambiental (temperatura) es la mejor predictora de la riqueza, sin embargo es fuertemente mediada por las variables relacionadas a la disponibilidad de agua. Siguiendo esta idea, la diversidad de vertebrados endémicos en Guatemala disminuye cuando la disponibilidad de agua disminuye (en este caso una relación entre temperatura y precipitación); sin embargo, al estar Guatemala en una latitud intermedia, estos efectos de energía-agua actúan fuertemente mezclados, obscureciendo la relación más fuerte.

9. Conclusiones

Para cada uno de los grupos taxonómicos analizados se identificaron sitios con altos valores de diversidad. Para los mamíferos, las áreas de mayor concentración de especies se encuentran en el Noroccidente (Huehuetenango) y Norte (Petén). En el caso de las aves, las regiones de mayor riqueza de especies se encuentran en el centro, en las regiones montañosas y muy pocas en las regiones bajas. Para los reptiles los patrones de riqueza de especies se ubican principalmente en el Sur Occidente (San Marcos y Quetzaltenango). Finalmente para los anfibios las regiones de mayor riqueza de especies se encuentran en las regiones altas del centro occidente y Caribe.

Existen regiones donde es posible encontrar hasta 60% de las aves endémicas de la región, mientras que nunca será posible encontrar más de 16% del total de las especies de anfibios. Este patrón evidencia que las áreas de distribución de reptiles y anfibios son en promedio más restringidas que las de las aves, mientras que las de los mamíferos son intermedias, lo cual tiene consecuencias importantes para la conservación. Por lo que, debería ser más sencillo lograr que una alta porción de la ornitofauna del país se conserve mediante áreas protegidas como parques y reservas, que en el caso de los anfibios y reptiles

La diversidad de las especies de vertebrados terrestres de distribución más amplia, no presentan los mismos patrones que la diversidad observada con las especies endémicas. Por lo que las medidas y estrategias de conservación no deben ser las mismas para ambos casos.

Los patrones espaciales del número de especies entre los cuatro taxa de vertebrados terrestres endémicos presentan un patrón similar pero no idéntico. En general la región central-occidental del país alberga un mayor número de especies, aunque también existe una región rica en especies en el altiplano guatemalteco.

Los sitios de mayor diversidad α tienden a presentar un alto recambio de especies, o diversidad β , pero no los valores más altos, es decir, los *hot spots*, presentan un recambio de especies menor del que ocurre afuera de ellos. Aunque tanto dentro como fuera de los *hot spots* las especies se caracterizan por tener áreas de distribución muy restringida.

Los valores más altos de diversidad beta se observan al pasar de una zona de alta diversidad a una de baja diversidad alfa, especialmente en el caso de las zonas de montaña a las de valles, donde las comunidades faunísticas cambian fuertemente.

Los anfibios y reptiles presentan una distribución más restringida en comparación a los mamíferos y aves. Lo que indica que estos dos grupos tienen asociaciones más “estrictas” con los biomas. Esto es importante para entender mejor cómo se estructuran los paisajes y comunidades, y como se deben establecer las estrategias de conservación para estos grupos en específico.

El análisis de complementariedad efectuado, demuestra que las áreas protegidas contenidas dentro del SIGAP se complementan adecuadamente para resguardar a más del 90% de las especies endémicas terrestres presentes en el país. Sin embargo, se puede dudar de la efectividad del SIGAP al no cubrir la distribución de todas las especies endémicas estudiadas. El análisis *gap* realizado demuestra que son 15 especies endémicas en total las que no se encuentran cubiertas por el SIGAP, resaltando la presencia en esta lista de cinco especies con distribución exclusiva en Guatemala (*Craugastor myllomyllon*, *Exerodonta perkinsi*, *Plectrohyla teuchestes*, *Ptychohyla dendrophasma*, *Ptychohyla macrotympanum*).

Se debe considerar aumentar el número de espacios protegidos dentro del SIGAP, para lograr una representatividad más significativa. Dicho crecimiento se debe enfocar en mejorar la efectividad del manejo de las especies, sin responder a eventos arbitrarios y oportunistas. Además conjuntamente con el incremento del

número y extensión de las áreas protegidas, es necesario asegurar los recursos e insumos (principalmente económicos) que establezcan directrices de administración y manejo adecuadas en los nuevos escenarios.

La conectividad entre distintos hábitats, la funcionalidad de ecosistemas a escalas grandes y los movimientos migratorios de muchas especies implican que una estrategia de conservación simple no sería suficiente ni eficaz. Y dado el elevado valor de diversidad β de los reptiles y anfibios, para la conservación de estos dos grupos se debería de utilizar una aproximación de manejo de reservas similar a un archipiélago de islas pequeñas, en contraste, para las aves donde una aproximación de *hot spots* puede ser funcional.

No se observó ninguna tendencia latitudinal en la distribución de las especies endémicas, aunque se exhibe un patrón en el que las áreas de endemismo coinciden con las tres principales cadenas montañosas (Cuchumatanes, Volcánica, y de las Minas). Este patrón puede ser de interés para las políticas de conservación, puesto que generalmente las regiones menos perturbadas están localizadas en las cadenas montañosas.

Se evidenció que las medidas de riqueza promedio de las especies endémicas de cada área, presentan fuertes relaciones con variables referentes con climas templados y muy húmedos. Estos hallazgos sugieren que la energía ambiental (temperatura) es la mejor predictora de la riqueza, sin embargo es fuertemente mediada por las variables relacionadas con la disponibilidad de agua.

10. Recomendaciones

Ya que la distribución espacial de la riqueza de especies a grandes rasgos es similar pero no idéntica entre los taxa examinados; se recomienda que ningún grupo por sí solo, sea utilizado para identificar los sitios de mayor biodiversidad de endémicos del país.

Debido a las características de distribución y diversidad identificadas en los anfibios y reptiles, las cuales difieren en alguna medida a la de los mamíferos y aves, se recomienda que las estrategias de conservación ha implementar en el país y dentro del SIGAP, se establezcan de una forma mixta, combinando los requerimientos de área y localización, con las características propias de cada uno de los elementos de conservación.

Los análisis efectuados demuestran que el SIGAP se complementa para mantener y resguardas un alto porcentaje las especies endémicas terrestres. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que dicho análisis solamente considera la presencia de las especies y no el área mínima necesaria para que se mantengan. Por lo que se recomienda realizar estudios exhaustivos sobre la distribución, presencia y rangos de distribución de las especies endémicas, para poder determinar las áreas mínimas requeridas para conservar efectivamente las especies de interés.

Se recomienda priorizar esfuerzos de conservación e investigación para las 15 especies endémicas que no se encuentran cubiertas dentro el SIGAP, resaltando en esta lista las cinco especies con distribución exclusiva en Guatemala (*Craugastor myllomyllon*, *Exerodonta perkinsi*, *Plectrohyla teuchestes*, *Ptychohyla dendrophasma*, *Ptychohyla macrotympanum*).

Es necesario priorizar recursos y esfuerzos para establecer e implementar estrategias de manejo específicas en cada una de las 70 áreas protegidas que mejor se complementan, para determinar su permanencia y funcionalidad a largo

plazo y asegurar la conservación de las especies. Es primordial definir nuevas áreas protegidas o analizar estrategias alternativas de conservación para cubrir la distribución de todas las especies endémicas, logrando que el SIGAP se complemente en un 100%. Este análisis debe considerarse como una base teórica en la decisión y designación de nuevos espacios de conservación en el país.

Se requiere de monitoreos y evaluaciones permanentes en las áreas protegidas para determinar que estas cumplan a cabalidad los objetivos de conservación para lo que fueron creadas, y de no ser así, se modifiquen las estrategias de manejo de una manera oportuna.

Dado que la diversidad de las especies de vertebrados terrestres de distribución más amplia, no presenta los mismos patrones que la diversidad observada en las especies endémicas. Es importante incluir la información generada en este estudio en las estrategias nacionales de conservación, ya que lo que las medidas de conservación no pueden ser las mismas para ambos grupos.

Un aspecto importante a tomar en cuenta, es que se deben realizar evaluaciones en cada una de las áreas identificadas como prioritarias y de importancia, para verificar el riesgo ante la presencia de presiones y amenazas causadas por la actividad humana. Se reconoce que muchas de estas áreas se encuentran muy próximas a grandes centros urbanos lo cual dificulta la viabilidad y permanencia de las especies a largo plazo. De esta manera se podrá deducir si la implementación de nuevas áreas protegidas es la mejor opción o si se deben abordar diferentes estrategias de conservación específicas para dichos lugares.

Dado que las áreas de endemidad identificadas coinciden con sectores montañosos, es de suma importancia tomar en cuenta estas regiones para las políticas de conservación, puesto que generalmente las regiones menos perturbadas también coinciden con las cadenas montañosas.

11. Bibliografía

- Ariano, D. (2004). *Evaluación de Gestión del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas -SIGAP- 2002- 2004*. Consejo Nacional De Áreas Protegidas, Presidencia De La Republica De Guatemala. Pp. 60
- Arita, H. y León-Paniagua, L. (1993). Diversidad de mamíferos terrestres. *Ciencias* 7: 13-22
- Armesto, J. y Smith-Ramírez, C. (2001). La importancia de la distribución de las áreas protegidas. En R. Primack, R. Rozzi, P. Feinsinger, R. Dirzo y F. Massardo (Eds.). *Fundamentos de Conservación Biológica, Perspectivas Latinoamericanas*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Ashton, P. (2010). Conservation of Borneo biodiversity: do small lowland parks have a role, or are big inland sanctuaries sufficient? Brunei as an example. *Biodivers. Conserv.* 19: 343-356.
- Begon, M., Harper, J. & Townsend, C. (2006). *Ecology: individuals, populations, and communities*. Wiley-Blackwell. 1050 pp.
- Bergl, R., Oates, J. & Fotso, R. (2007). Distribution and protected area coverage of endemic taxa in West Africa's Biafran forests and highlands. *Biological Conservation* 134: 195-208.
- Breceda, A., Arriaga, L., Bojorquez, L. & Rodríguez, M. (2005). Defining Critical Areas for Conservation and Restoration in a Mexican Biosphere Reserve: a Case Study. *Natural Areas Journal* 25: 123-129.
- Brown, J. (1995). *Macroecology*. Chicago University Press, Chicago.
- Bruner, A., Gullison, R., Rice, R. & Fonseca, G. (2001). Effectiveness of Parks protecting tropical biodiversity. *Science* 291: 125-128.
- Cabeza, M., Moilanen, A. & Possingham, H. (2003). Metapopulation dynamics and reserve-network design. In I. Hanski & O. Gaggiotti (Eds.) *Ecology, Genetics and Evolution of Metapopulations*. Academic Press, New York.
- Campbell, J. & Vannini, J. (1989). Distribution of amphibians and reptiles of Guatemala and Belize. *Proc. Western Found. Vert. Zool.* 4: 1-21
- Castellanos, E., Regalado, O., Pérez, G., Montenegro, R., Ramos, V. e Incer, D. (2011). *Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2006 y dinámica de la cobertura forestal 2001-2006*. Universidad del Valle de Guatemala. Instituto Nacional de Bosques. Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Universidad Rafael Landívar. 97 p.
- Ceballos, G. (2007). Conservation priorities for mammals in megadiverse Mexico: the efficiency of reserve Networks. *Ecological Applications* 17(2): 569-578.
- CONAMA. 1999. Estrategia Nacional para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad y plan de acción Guatemala. GEF-PNUD GUATEMALA. Pp. 117
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- (1999). *Política Nacional y Estrategias para el Desarrollo del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas*. Secretaria Ejecutiva CONAP. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional USAID. Guatemala.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- (2007). *Diagnostico de capacidades del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas –SIGAP-*. Secretaria Ejecutiva CONAP. The Nature Conservancy.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- (2010). *Biodiversidad Terrestre de Guatemala: Análisis de Vacíos y Estrategias para su Conservación*.

- Documento Técnico No. 73 (I-2010). Guatemala: TNC-WWF-CI-CONAP. 158 p.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-. (2011). *Áreas protegidas de Guatemala*. SIG-Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Guatemala.
- Cornell, H. & Lawton, J. (1992). Species interactions, local and regional processes, and limits to the richness of ecological communities: A theoretical perspective. *Journal of Animal Ecology* 61: 1-12.
- Cracraft, J. (1991). Patterns of diversification within continental biotas: hierarchical congruence among the areas of endemism of Australian vertebrates. *Australian Systematic Botany*, 4, 211–227.
- Crist, P. (1997). "Gap Analysis": *Evaluación de la Representatividad de los Elementos Bióticos en Relación con la Administración de Tierras*. Idaho Cooperative Fish and Wildlife Research Unit Moscow.
- Eisermann, K. y Avendaño, C. (2006). Diversidad de aves en Guatemala con una lista bibliográfica. En E. Cano (Ed.). *Biodiversidad de Guatemala* (Vol. I, p:525-623). Guatemala: UVG-FONACON-MARN-CONCYT-SENACYT.
- Elbers, J. (Editor) (2011). *Las Áreas Protegidas de América Latina: Situación actual y perspectivas para el futuro*. Quito, Ecuador. IUCN, 227 p.
- Escalante, T., Sánchez-Cordero, V., Morrone, J. & Linaje, M. (2007). Areas of endemism of Mexican terrestrial mammals: A case study using species' ecological niche modeling, Parsimony Analysis of Endemicity and Goloboff fit. *Interciencia* 32: 151-159.
- Flores-Villela, O. y Gerez, P. (1988). *Biodiversidad y Conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. UNAM. México.
- Fuller T., Cordero, V., Rangel, P., Linaje, M. & Sarkar, S. (2007). The Cost of postponing biodiversity conservation in Mexico. *Biological Conservation* 134: 593-600.
- Gaston, K. (1996). Species richness: Measure and measurement. In K.Gaston (ed.), *Biodiversity. A biology of numbers and differences* (p: 77-113). Blackwell Science, Oxford.
- Gaston, K. & Blackburn, T. (2000). *Pattern and process in macroecology*. Blackwell Science, Oxford.
- Gaston, K., Charman, K., Jackson, S., Armsworth, P., Bonn, A., Briers, R., Callaghan, C., Catchpole, R., Hopkins, J., Kunin, W., Latham, J., Opdam, P., Stoneman, R., Stroud, D. & Tratt, R. (2006). The Ecological Effectiveness of Protected areas: The United Kingdom. *Biological Conservation*. 132: 76-87.
- Goloboff, P., Farris, J. & Nixon, K. (2008). T. N. T. Tree Analysis Using New Technology, Version 1.1. Disponible en <http://www.tnt.com>
- Guatemala. (1990). *Decreto 4-89: Ley de Áreas Protegidas*. Presidencia de la Republica. Guatemala. 28 p.
- Halffter, G. (1987). Biogeography of the montane entomofauna of Mexico and Central America. *Annual Review of Entomology* 32:95-114.
- Halffter, G. (1998). A strategy for measuring landscape biodiversity. *Biology International*, 36, 3–17.
- Halffter, G. y Moreno, C. (2005). Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gamma. En G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff y A. Melic (eds.). *Sobre*

- diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma* (p: 5-18). Monografías Tercer Milenio, Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza.
- Halffter, G., Soberón, J., Koleff, P. & Melic, A. (eds.). (2005). *Sobre Diversidad Biológica: El significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. m3m: Monografías Tercer Milenio, vol. 4, S.E.A., Zaragoza, España.
- Haufler, J., Mehl, C. & Roloff, G. (1999). Conserving biological diversity using a coarse-filter approach with a species assessment. In R. Baydack, H. Campa III, & J. Haufler (eds.) *Practical Approaches to the Conservation of Biological Diversity* (p: 107-125). Island Press. Washington, D.C.
- Hawkins, B., Porter, E., Diniz-Filho, J., O'Brien, E., Porter, E. & Turner, J. (2003). Productivity and history as predictors of the latitudinal diversity gradient of terrestrial birds. *Ecology*, 84:1608–1623.
- Hazen H, & Anthamatten, P. (2004). Representation of ecological regions by protected areas at the global scale. *Physical Geography* 25: 499–512.
- Hernández, H. (2006). *La vida en los desiertos Mexicanos*. SEP, FCE, CONACYT, CAB. México. 188 pp.
- Illoild, R., Linaje, M. y Sánchez-Cordero, V. (2002). Distribución de los mamíferos terrestres en la región del Golfo de California., México. *Anales del Instituto de Biología. UNAM, México. Serie Zoológica*. 73(2): 213-224.
- Janzen, D. (1967). Why mountain passes are higher in the tropics. *American Naturalist*, 101: 233-249.
- Jolón-Morales, M. (2006a). *Informe del Estado Actual del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas*. Informe final de consultoría. CONAP-PNUD. Guatemala. 128p.
- Jolon-Morales, M. (2006b). *Recopilación de información sobre biodiversidad en Guatemala*. Informe final de consultoría. Guatemala: INBIO-CONAP. 110 p.
- Justus, J., & Sarkar, S. (2002). The Principle of Complementarity in the Design of Reserve Networks to Conserve Biodiversity: A Preliminary History. *Journal of Biosciences* 27: 421 –435.
- Kareiva, P. & Marvier, M. (2003). Recent calls to direct conservation funding to the world's biodiversity hotspots may be bad investment advice. *American Scientist* 91: 344-351.
- Koleff, P. (2002). *Spatial species turnover: Patterns, determinants, and applications*. (Doctoral Thesis). University of Sheffield, R.U.
- Koleff, P., Gaston, K. & Lennon, J. (2003). Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology* 72: 367-382.
- Koleff, P., Soberón, J., Patricia, T., Óscar, D., Golubov, F., Villela, J., Halffter, G., Claudia, A., Noriega, L. (2008). *Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies*. Capital Natural de Mexico (Vol. I, pp. 323-364).
- Kraft, N., Comita, L., Chase, J., Sanders, N., Swenson, N., Crist, T., Stegen, J., Vellend, M., Boyle, B., Anderson, M., Cornell, H., Davies, K., Freestone, A., Inouye, B., Harrison, S. & Myers, J. (2011). Diversity Along Latitudinal and Elevational Gradients. *Science*, Vol. 333. Pp. 1755-1758.
- Krebs, C. (1978). *Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Second Edition. Harper and Row, New York. 678 pp.

- Lawton, J. (1993). Range, population abundance and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 8:409-413.
- Leader-Williams, N., Harrison, J. & Green, M. (1990). Designing protected areas to conserve natural resources. *Science Progress* 74, 189-204.
- Lobo, J., Castro, I. & Moreno, J. (2001). Spatial and environmental determinants of vascular plant species richness distribution in the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Biol J Linn Soc* 73:233–253.
- MAGA -Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación-. (2002). *Atlas temático de la República de Guatemala*. Guatemala, 127 p.
- Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Croom Helm, Londres.
- Margules, C. & Pressey, R. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*. 405: 243-253.
- MARN-URL/IARNA-PNUMA. (2009). *Informe Ambiental del Estado – GEO Guatemala 2009*. Guatemala. 286 p.
- Mittermeier, M., Myers, N. & Tomsen, J. (1998). Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: Approaches to setting conservation priorities. *Conservation Biology* 12: 516.
- Morrone, J. (1994). On the identification of areas of endemism. *Systematic Biology*, 43, 438–441.
- Morrone, J. & Crisci, J. (1995). Historical biogeography: introduction to methods. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 26, 373–401.
- Murguía, M. (2005). *La estadística espacial como herramienta de análisis de la biodiversidad*, en G. Halffter, J. Soberón,
- Olson, D., Dinerstein, E., Wikramanayake, E., Burgess, N., Powell, G., Underwood, E., D'Amico, J., Strand, H., Morrison, J., Loucks, C., Allnutt, T., Lamoreux, J., Ricketts, T., Itoua, I., Wettengel, W., Kura, Y., Hedao, P. & Kassem, K. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *BioScience* 51:933-938.
- Orme, C., Davies, R., Burgess, M., Eigenbrod, F. & Pickup, N. (2005). Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature* 436: 1016-1019.
- Pielou, E. (1979). *Biogeography*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Pressey, R., Cowling, R. & Rouget, M. (2003). Formulation of conservation targets for biodiversity pattern and process. In R.Cowling (Ed.). *Floristic Region, South Africa* (p: 99-127). Biological Conservation.
- Pressey, R., Humphries, C., Margules, C., Vane-Wright, R. & Williams, P. (1993). Beyond opportunism: Key principles for systematic reserve selection. *Trends Ecol. Evol* 8: 124-128.
- Pressey, R. & Nichols, A. (1989). Efficiency in conservation evaluation: scoring v. interactive approaches. *Biological Conservation* 50:199-218.
- Rapoport, E. (1975). *Areografía, estrategias geográficas de las especies*. Fondo de Cultura Económica, Mexico City.
- Ridgely, R., Allnutt, T., Brooks, T., McNicol, D., Mehlman, D., Young, B., & Zook, J. (2007). *Digital Distribution Maps of the Birds of the Western Hemisphere, version 3.0*. NatureServe, Arlington, Virginia, USA.

- Riemann, H. & Ezcurra, E. (2007). Endemic regions of the vascular flora of the Peninsula of Baja California, México. *Journal of Vegetation Science*, 18:327–336.
- Rodriguez, A., Andelman, S., Bakarr, M., Boitani, L., Brooks, T., Cowling, R., Fishpool, L., Fonseca, G., Gaston, K., Hoffman, M., Long, J., Marquet, P., Pilgrim, J., Pressey, R., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S., Underhill, L., Waller, R., Watts, E. & Yan, X. (2004a). Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature* 428: 640-643.
- Rodrigues, A. & Gaston, K. (2001). How large do reserve networks need to be?. *Ecology Letters* 4: 602-609.
- Rodrigues, A., Resit, H., Andelman, S., Bakarr, M., Boitani, L. & Brooks, T. (2004b). Global Gap Analysis: Priority for Expanding the Global Protected-Area Network. *Bioscience*. Vol.54. No. 12. 1092-1100.
- Rodríguez, P., Soberón, J. y Arita, H. (2003). El Componente Beta de la Diversidad de Mamíferos de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 89:241-259.
- Rosen, B. (1988). From fossils to earth history: applied historical biogeography. In A. Myers & P. Giller (Eds.) *Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distributions* (p: 437–481). Chapman y Hall, London.
- Rosenzweig, M. (1995). *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rozzi, R., Primack, R., Feinsinger, P., Dirzo, R. y Massardo, F. (2001). ¿Qué es la Biología de la Conservación? En: Fundamentos de Conservación Biológica. Perspectivas Latinoamericanas. Fondo de Cultura Económica. 35-58 pp.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de Mexico*. Limusa, Mexico D.F.
- Sánchez-Cordero, V., Cirelli, V., Munguía, M. & Sarkar, S. (2005). Place Priorization for Biodiversity Representation Using Species' Ecological Niche Modeling. *Biodiversity Informatics*, 2. 11-23.
- Sarukhán, J., Soberón, J. & Larson, J. (1996). Biological conservation in a high beta-diversity country. In F. di Castri & T. Younes (eds.) *Biodiversity, science and development: Toward a new partnership* (p: 246-263). CAB International-IUBS, París.
- Schmida, A. & Wilson, M. (1985). Biological determinants of species diversity. *Journal of Biogeography* 12: 1-20.
- Schuster, J. (1992). Biotic areas and the distribution of Passalid beetles (Coleoptera) in Northern Central America: Post-Pleistocene montane refuges. In *Biogeography of Mesoamerica* (p:285-292). New Orleans, Tulane University.
- Schuster, J., Cano, E., & Cardona, C. (2000). Un método sencillo para priorizar la conservación de los bosques nubosos de Guatemala, usando Passalidae (coleóptera) como organismos indicadores. *Acta Zoológica Mexicana* 80: 197 – 209.
- Scott, J. (1997). Gap Analysis for biodiversity Surrey and maintenance. In M, Reaka-Kudla, D. Wilson y E. Wilson. (Eds.) *Biodiversity II. Understanding and protecting our biological resources* (p: 321-340). National Academy Press. Washington DC, EEUU.

- Scott, J., Davis, F., McGhie, R., Wright, R., Groves, C. y Estes, J. (2001). Nature reserves: Do they capture the full range of America's biological diversity? *Ecol. Aplicat* 11: 999-1007.
- SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES -SERMANAT- (2005). *Informe de la situación del medio ambiente en México*. Compendio de estadísticas ambientales. Semarnat-PNUD. México, D.F.163-189
- Shi, H., Singh, A., Kant, S., Zhu, Z. & Waller, E. (2005). Integrating Habitat Status, Human Population Pressure, and Protection Status into Biodiversity Conservation Priority Setting. *Conservation Biology* Vol. 19, No. 4. 1273-185.
- Simberloff, D. (1983). Biogeography: The unification and maturation of a science. In A. Brush & G. Clark (eds.). *Perspectives in ornithology* (p: 411-473). Cambridge University Press, Cambridge.
- Simberloff, D. & Abele, L. (1982). Refuge design and island biogeographic theory - effects of fragmentation. *American Naturalist*, 120:41-56
- Simberloff, D. & Gotelli, N. (1984). Effects of insularization on plant species richness in the prairie-forest ecotone. *Biological Conservation* 29: 63-80.
- Soulé, M. & Sanjayan, M. (1998). Conservation targets: do they help? *Science* 279:2060–2061.
- Soulé, M. & Simberloff, D. (1986). What do genetics and ecology tell us about the design of nature reserves? *Biological Conservation* 35:19-40.
- Stuart, L. (1943). Taxonomic and geographic comments on Guatemala salamanders of the genus *Oedipus*. Miscellaneous Publications, Museum of Zoology, University of Michigan. 56:1-33
- Stuart, L. (1954). A description of a subhumid corridor across Northern Central America, with comments on its herpetofaunal indicators. *Contrib. Lab. Vert. Zool. Univ. Michigan*. 65:1-26.
- Traba, J., García, E., Morales, M. y Suárez, F. (2007). Determining high value areas for steppe birds in Spain: hot spots, complementarity and the efficiency of protected areas. *Biodivers Conserv* 16: 3255-3275.
- Trisurat, Y. (2007). Applying Gap Analysis and Comparison Index to Evaluate Protected Areas in Thailand. *Environmental Management*. 39: 235-245.
- Union for Conservation of Nature –IUCN- (2011). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.1. <www.iucnredlist.org>. Downloaded el 23 Marzo 2011.
- URL-IIA. (2004). *Perfil ambiental de Guatemala: Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática*. Guatemala: URL-IIA-FCAA-IARNA-Embajada Real de los Países Bajos. 144 p.
- Vásquez, E. (2007). Filogeografía y Vertebrados. En L. Eguiarte, V. Souza y X. Aguirre (Comp.). *Ecología molecular*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Instituto Nacional de Ecología, UNAM. México.
- Vazquez, L., & Gaston, K. (2006). People and mammals in México: conservation conflicts at a national scale. *Biodiversity and Conservation* 15:2397-2414.
- Vazquez, L. y Valenzuela-Galván, D. (2009). ¿Qué tan bien representados están los mamíferos mexicanos en la red federal de áreas naturales protegidas del país?. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80:249-258.

- Whittaker, R. (1960). Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecol. Monogr.* 30: 279-338.
- Whittaker, R. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.
- Wilson, E. & Willis, E. (1975). *Applied biogeography. Ecology and Evolution of Communities*. Belknap Press of Harvard University, Cambridge.
- Wright, S. & Hubbell, S. (1983). Stochastic extinction and preserve size: a focal species analysis. *Oikos* 41: 466-476.

12. Anexos

Anexo No. 1

Listado de las especies endémicas distribuidas en Guatemala, para los grupos taxonómicos de mamíferos, anfibios, reptiles y aves.

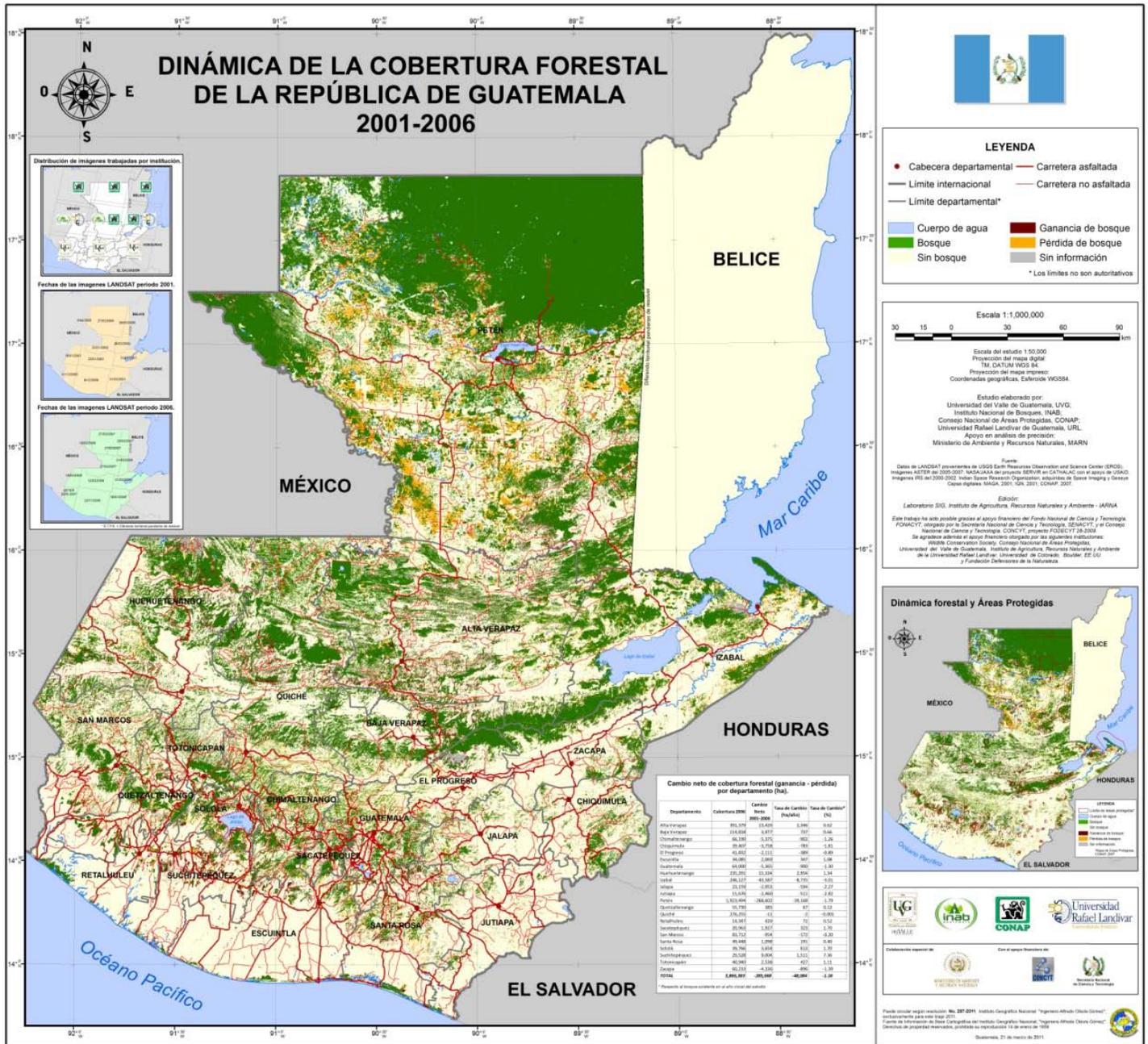
No.	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Mammalia	Primates	Atelidae	<i>Alouatta</i>	<i>pigra</i>
2	Mammalia	Chiroptera	Emballonuridae	<i>Balantiopteryx</i>	<i>io</i>
3	Mammalia	Eulipotyphla	Soricidae	<i>Cryptotis</i>	<i>goodwini</i>
4	Mammalia	Eulipotyphla	Soricidae	<i>Cryptotis</i>	<i>griseoventris</i>
5	Mammalia	Eulipotyphla	Soricidae	<i>Cryptotis</i>	<i>mayensis</i>
6	Mammalia	Eulipotyphla	Soricidae	<i>Cryptotis</i>	<i>tropicales</i>
7	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Habromys</i>	<i>lophurus</i>
8	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Handleyomys</i>	<i>rhabdops</i>
9	Mammalia	Rodentia	Heteromyidae	<i>Heteromys</i>	<i>gaumeri</i>
10	Mammalia	Rodentia	Heteromyidae	<i>Heteromys</i>	<i>nelson</i>
11	Mammalia	Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Lophostoma</i>	<i>Eeotis</i>
12	Mammalia	Cetartiodactyla	Cervidae	<i>Mazama</i>	<i>pandora</i>
13	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Microtus</i>	<i>guatemalensis</i>
14	Mammalia	Chiroptera	Vespertilionidae	<i>Myotis</i>	<i>cobanensis</i>
15	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Otonyctomys</i>	<i>hatti</i>
16	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Peromyscus</i>	<i>grandis</i>
17	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Peromyscus</i>	<i>guatemalensis</i>
18	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Peromyscus</i>	<i>mayensis</i>
19	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Peromyscus</i>	<i>yucatanicus</i>
20	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Peromyscus</i>	<i>zarhynchus</i>
21	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Reithrodontomys</i>	<i>tenuirostris</i>
22	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	<i>Rheomys</i>	<i>thomasi</i>
23	Mammalia	Chiroptera	Vespertilionidae	<i>Rhogeessa</i>	<i>aeneus</i>
24	Mammalia	Rodentia	Sciuridae	<i>Sciurus</i>	<i>yucatanenses</i>
25	Aves	Psittaciformes	Psittacidae	<i>Amazona</i>	<i>xantholora</i>
26	Aves	Passeriformes	Emberizinae	<i>Arremonops</i>	<i>chloronotus</i>
27	Aves	Coraciiformes	Momotidae	<i>Aspatha</i>	<i>gularis</i>
28	Aves	Apodiformes	Trochilidae	<i>Atthis</i>	<i>elliotti</i>
29	Aves	Apodiformes	Trochilidae	<i>Campylopterus</i>	<i>rufus</i>
30	Aves	Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Caprimulgus</i>	<i>badius</i>
31	Aves	Passeriformes	Fringillidae	<i>Carduelis</i>	<i>atriceps</i>
32	Aves	Passeriformes	Corvidae	<i>Cyanocorax</i>	<i>yucatanicus</i>
33	Aves	Passeriformes	Corvidae	<i>Cyanolyca</i>	<i>pumilo</i>
34	Aves	Galliformes	Odontophoridae	<i>Cyrtonyx</i>	<i>ocellatus</i>
35	Aves	Apodiformes	Trochilidae	<i>Doricha</i>	<i>enicura</i>
36	Aves	Passeriformes	Parulidae	<i>Ergaticus</i>	<i>versicolor</i>
37	Aves	Passeriformes	Parulidae	<i>Granatellus</i>	<i>sallaei</i>
38	Aves	Passeriformes	Icteridae	<i>Icterus</i>	<i>maculialatus</i>
39	Aves	Apodiformes	Trochilidae	<i>Lampornis</i>	<i>viridipallens</i>
40	Aves	Strigiformes	Strigidae	<i>Megascops</i>	<i>barbarus</i>
41	Aves	Passeriformes	Mimidae	<i>Melanoptila</i>	<i>glabrirostris</i>
42	Aves	Passeriformes	Mimidae	<i>Melanotis</i>	<i>hypoleucus</i>
43	Aves	Galliformes	Phasianidae	<i>Meleagris</i>	<i>Ocellata</i>
44	Aves	Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiarchus</i>	<i>Yucatanenses</i>
45	Aves	Passeriformes	Hirundinidae	<i>Notiochelidon</i>	<i>Pileata</i>
46	Aves	Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Nyctiphrynus</i>	<i>Yucatanicus</i>
47	Aves	Galliformes	Cracidae	<i>Oreophasis</i>	<i>Derbianus</i>
48	Aves	Passeriformes	Thraupidae	<i>Piranga</i>	<i>roseogularis</i>

49	Aves	Strigiformes	Strigidae	<i>Strix</i>	<i>fulvescens</i>
50	Aves	Passeriformes	Thraupidae	<i>Tangara</i>	<i>cabanisi</i>
51	Aves	Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus</i>	<i>rufitorques</i>
52	Aves	Passeriformes	Tyrannidae	<i>Xenotriccus</i>	<i>callizonus</i>
53	Amphibians	Caudata	Plethodontidae	<i>Bolitoglossa</i>	<i>conanti</i>
54	Amphibians	Caudata	Plethodontidae	<i>Bolitoglossa</i>	<i>cuchumatana</i>
55	Amphibians	Caudata	Plethodontidae	<i>Bolitoglossa</i>	<i>dofleini</i>
56	Amphibians	Caudata	Plethodontidae	<i>Bolitoglossa</i>	<i>dunni</i>
57	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Bromeliahyla</i>	<i>bromeliacia</i>
58	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>adamastus</i>
59	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>amniscola</i>
60	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>aphanus</i>
61	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>bocourti</i>
62	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>brocchi</i>
63	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>campbelli</i>
64	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>charadra</i>
65	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>daryi</i>
66	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>greggi</i>
67	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>inachus</i>
68	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>laticeps</i>
69	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>lineatus</i>
70	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>matudai</i>
71	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>myllomyllon</i>
72	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>nefrens</i>
73	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>palenque</i>
74	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>psephosypharus</i>
75	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>pygmaeus</i>
76	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>rivulus</i>
77	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>rostralis</i>
78	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>rupinius</i>
79	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>sabrinus</i>
80	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>sanderson</i>
81	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>stuarti</i>
82	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>trachydermus</i>
83	Amphibians	Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor</i>	<i>xucanebi</i>
84	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Dendropsophus</i>	<i>robertmertensi</i>
85	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Duellmanohyla</i>	<i>schmidtorum</i>
86	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Duellmanohyla</i>	<i>soralia</i>
87	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Ecnomiohyla</i>	<i>minera</i>
88	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Ecnomiohyla</i>	<i>salvaje</i>
89	Amphibians	Anura	Eleutherodactylidae	<i>Eleutherodactylus</i>	<i>rubrimaculatus</i>
90	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Exerodonta</i>	<i>perkinsi</i>
91	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Hyla</i>	<i>bocourti</i>
92	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Hyla</i>	<i>walkeri</i>
93	Amphibians	Anura	Microhylidae	<i>Hypopachus</i>	<i>barberi</i>
94	Amphibians	Anura	Bufoidea	<i>Incilius</i>	<i>bocourti</i>
95	Amphibians	Anura	Bufoidea	<i>Incilius</i>	<i>campbelli</i>
96	Amphibians	Anura	Bufoidea	<i>Incilius</i>	<i>canaliferus</i>
97	Amphibians	Anura	Bufoidea	<i>Incilius</i>	<i>ibarra</i>
98	Amphibians	Anura	Bufoidea	<i>Incilius</i>	<i>macrocristatus</i>
99	Amphibians	Anura	Bufoidea	<i>Incilius</i>	<i>tacanensis</i>
100	Amphibians	Anura	Bufoidea	<i>Incilius</i>	<i>tutelarius</i>
101	Amphibians	Anura	Ranidae	<i>Lithobates</i>	<i>macroglosia</i>
102	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>acanthodes</i>
103	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>avia</i>
104	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>glandulosa</i>

105	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>guatemalensis</i>
106	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>hartwegi</i>
107	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>ixil</i>
108	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>matudai</i>
109	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>pokomchi</i>
110	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>quemchi</i>
111	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>sagorum</i>
112	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>tecunumani</i>
113	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Plectrohyla</i>	<i>teuchestes</i>
114	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Ptychohyla</i>	<i>dendrophasma</i>
115	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Ptychohyla</i>	<i>euthysanota</i>
116	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Ptychohyla</i>	<i>macrotympnum</i>
117	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Ptychohyla</i>	<i>panchoi</i>
118	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Ptychohyla</i>	<i>salvadorensis</i>
119	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Ptychohyla</i>	<i>sanctaecrucis</i>
120	Amphibians	Anura	Hylidae	<i>Triprion</i>	<i>petasatus</i>
121	Amphibians	Gymnophiona	Caeciliidae	<i>Gymnopsis</i>	<i>syntrema</i>
122	Reptilia	Squamata	Anguidae	<i>Abronia</i>	<i>matudai</i>
123	Reptilia	Squamata	Teiidae	<i>Ameiva</i>	<i>chaitzami</i>
124	Reptilia	Squamata	Teiidae	<i>Aspidoscelis</i>	<i>motaguae</i>
125	Reptilia	Squamata	Teiidae	<i>Aspidoscelis</i>	<i>angusticeps</i>
126	Reptilia	Squamata	Teiidae	<i>Aspidoscelis</i>	<i>maslini</i>
127	Reptilia	Squamata	Viperidae	<i>Bothriechis</i>	<i>aurifer</i>
128	Reptilia	Squamata	Viperidae	<i>Bothriechis</i>	<i>bicolor</i>
129	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Coniophanes</i>	<i>quinquevittatus</i>
130	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Coniophanes</i>	<i>schmidti</i>
131	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Dipsas</i>	<i>brevifacies</i>
132	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Geophis</i>	<i>cancellatus</i>
133	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Geophis</i>	<i>carinosus</i>
134	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Geophis</i>	<i>immaculatus</i>
135	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Geophis</i>	<i>nasalis</i>
136	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Geophis</i>	<i>rhodogaster</i>
137	Reptilia	Squamata	Helodermatidae	<i>Heloderma</i>	<i>horridum</i>
138	Reptilia	Squamata	Corytophanidae	<i>Laemanctus</i>	<i>serratus</i>
139	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Leptodeira</i>	<i>frenata</i>
140	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Leptophis</i>	<i>modestus</i>
141	Reptilia	Squamata	Scincidae	<i>Mesoscincus</i>	<i>schwartzzei</i>
142	Reptilia	Squamata	Elapidae	<i>Micrurus</i>	<i>diastema</i>
143	Reptilia	Squamata	Elapidae	<i>Micrurus</i>	<i>elegans</i>
144	Reptilia	Squamata	Elapidae	<i>Micrurus</i>	<i>latifasciatus</i>
145	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Rhadinaea</i>	<i>hannsteini</i>
146	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Rhadinaea</i>	<i>kinkelini</i>
147	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Rhadinaea</i>	<i>lachrymans</i>
148	Reptilia	Squamata	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus</i>	<i>carinatus</i>
149	Reptilia	Squamata	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus</i>	<i>chrysostictus</i>
150	Reptilia	Squamata	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus</i>	<i>internasalis</i>
151	Reptilia	Squamata	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus</i>	<i>lundelli</i>
152	Reptilia	Squamata	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus</i>	<i>smaragdinus</i>
153	Reptilia	Squamata	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus</i>	<i>taeniochneis</i>
154	Reptilia	Squamata	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus</i>	<i>teapensis</i>
155	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Sibon</i>	<i>fischeri</i>
156	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Sibon</i>	<i>sanniola</i>
157	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Symphimus</i>	<i>mayae</i>
158	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Tantilla</i>	<i>cuniculator</i>
159	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Tantilla</i>	<i>impensa</i>
160	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Tantilla</i>	<i>jani</i>

161	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Tantilla</i>	<i>moesta</i>
162	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Tantilla</i>	<i>tayrae</i>
163	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Tantillita</i>	<i>brevissima</i>
164	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Tantillita</i>	<i>canula</i>
165	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Tantillita</i>	<i>lintoni</i>
166	Reptilia	Squamata	Colubridae	<i>Thamnophis</i>	<i>fulvus</i>
167	Reptilia	Squamata	Typhlopidae	<i>Typhlops</i>	<i>macrostomus</i>
168	Reptilia	Squamata	Typhlopidae	<i>Typhlops</i>	<i>tenuis</i>
169	Reptilia	Squamata	Xenosauridae	<i>Xenosaurus</i>	<i>grandis</i>

Anexo No. 2
 Mapa sobre la cobertura forestal en Guatemala para el año 2006.
 Fuente: Castellanos *et al* 2011



Dinámica forestal y Áreas Protegidas

Departamento	Cambio		Tasa de Cambio*	Tasa de Cambio**
	Cobertura 2001	2001-2006		
Altiplano	151,170	14,404	4,404	2.92
Baja Verapaz	114,534	1,817	357	0.31
Chimelengua	86,130	-3,375	-382	-0.44
Chiquimula	39,867	-3,708	-93	-0.23
El Progreso	43,801	-2,111	-489	-0.89
Escuintla	86,890	2,868	337	0.39
Guatemala	44,091	-5,965	-135	-0.30
Marlanguen	232,292	32,324	2,014	1.24
Quiché	286,117	42,587	5,755	1.97
Retalhuleu	171,658	-2,816	-166	-0.10
Sacatepéquez	110,676	-2,468	-222	-0.20
Solá	1,620,644	184,602	18,068	1.12
Totonicapán	10,778	953	87	0.81
Quetzaltenango	272,853	-11	-1	-0.00
San Marcos	14,381	439	31	0.22
San Peten	20,861	1,817	83	0.39
San José	83,712	854	171	0.20
Santiago	86,368	2,098	241	0.28
Sucumbatán	26,528	3,006	112	0.42
Totonicapán	40,782	2,438	60	0.15
Zacapa	80,231	-4,326	-54	-0.07
TOTAL	4,000,000	-200,000	-50,000	-1.25

* Referencia al tiempo promedio en el año oficial del estudio

Logos de instituciones: UVG, INAB, CONAP, Universidad Rafael Landívar, MARN, SENACYT, CONCI, MARN, URL, IARNA.

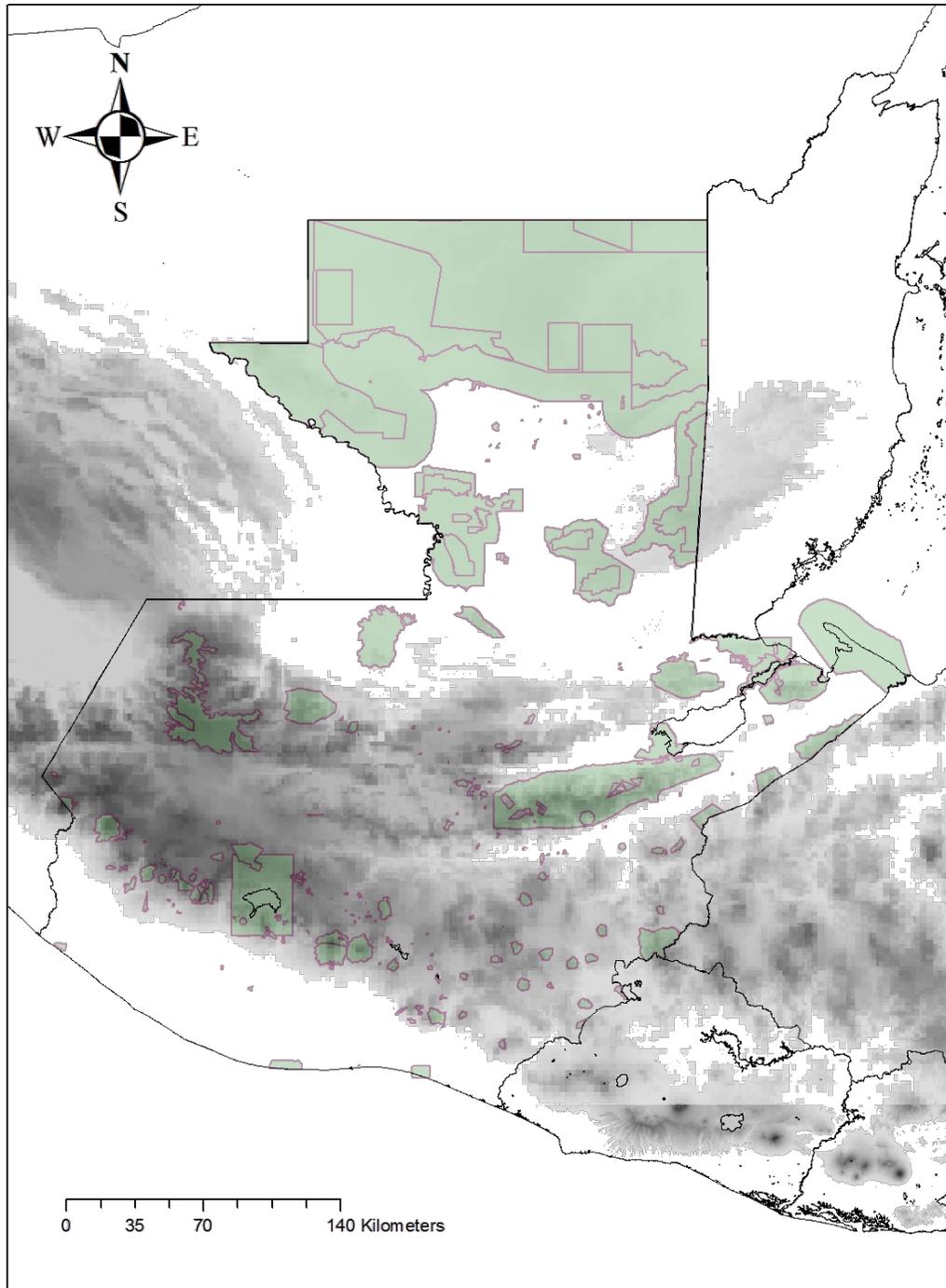
Publicación especial de: INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES, CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS, MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES.

Fecha de impresión según resolución No. 287-2011, Instituto Geográfico Nacional "Instituto Geográfico Nacional" (Instituto Geográfico Nacional) - Guatemala, 27 de marzo de 2011.

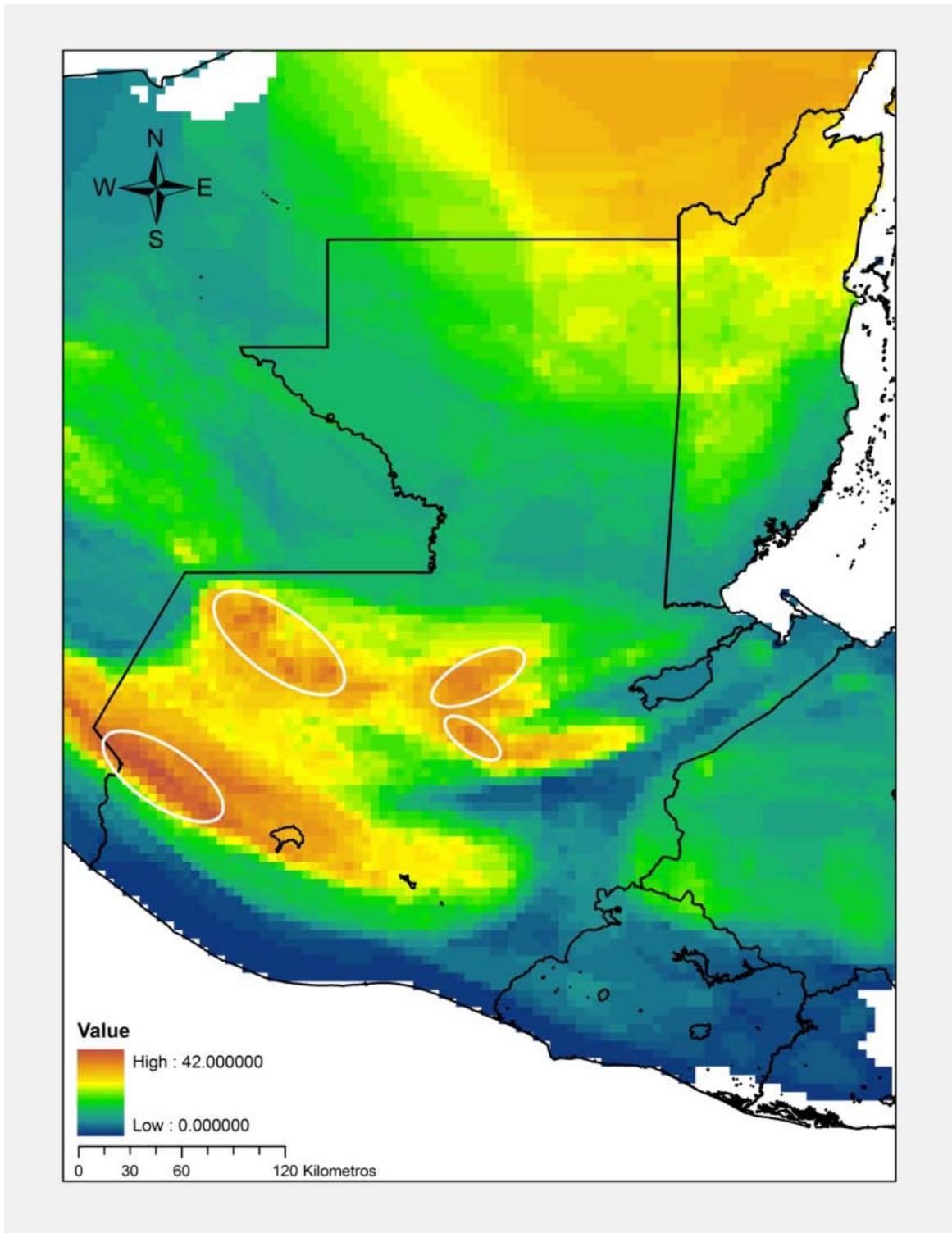
Anexo No. 3

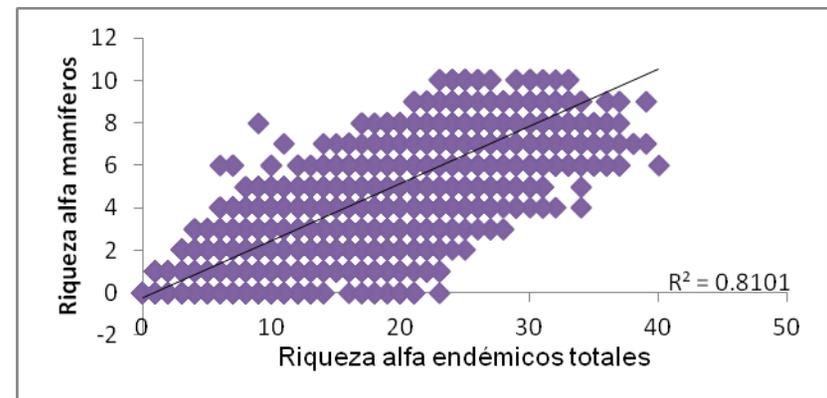
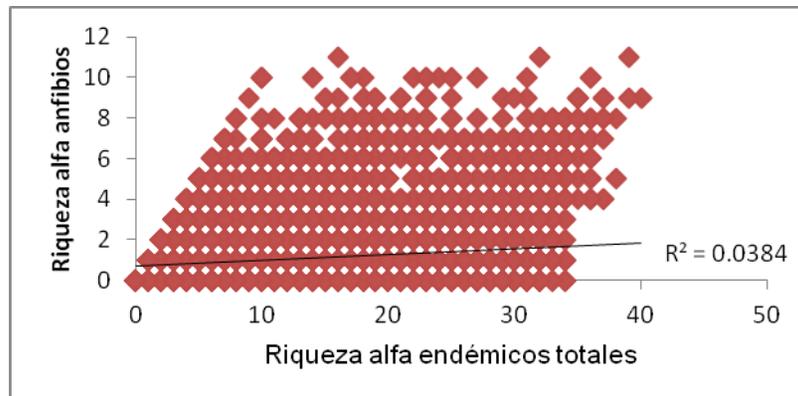
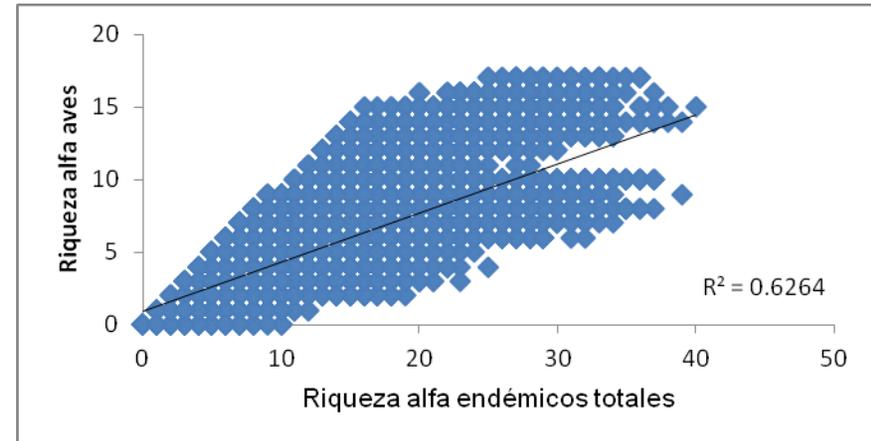
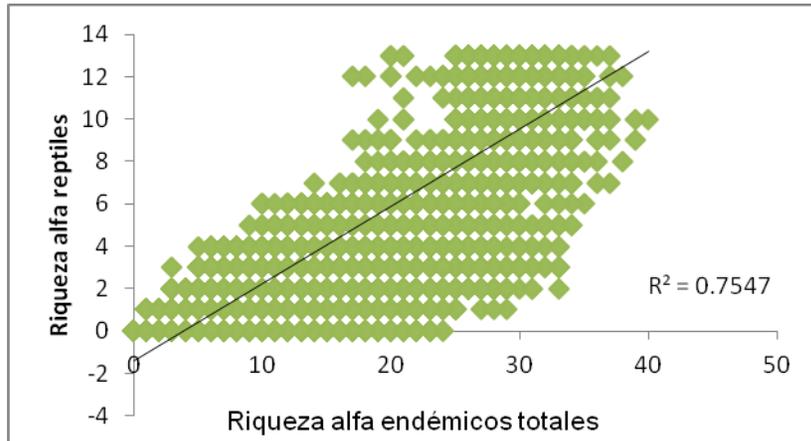
Mapa sobre la ubicación de las áreas protegidas que integran el SIGAP

Fuente: CONAP, 2010



Anexo 4. Áreas con altos valores de biodiversidad en Guatemala.



Anexo 5. Correlaciones entre las riquezas de especies de los cuatro grupos de vertebrados terrestres.

Lista de todos los integrantes del equipo de investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago	
			Si	No
Christian G. Estrada	Investigador I	20040770	X	
Dulce Bustamante	Profesor Titular	2001-0081		X
Mauricio J. García Recinos	Auxiliar de Investigación II	2004-0769	X	
Oscar Hugo Machuca	Auxiliar de Investigación II	2004-0118	X	

Nombre	Firma
Dulce María Bustamante	
Christian G Estrada	
Mauricio J. García Recinos	
Oscar Hugo Machuca Coronado	