



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

DG Dirección General
de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Informe final de Proyecto de Investigación

DIGI-PUI-004

Informe final de proyecto de investigación

Universidad de San Carlos de Guatemala

Dirección General de Investigación

Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente (PUIRNA)

Redes ecológicas para la conectividad en la Reserva de la Biosfera Maya: Vinculando desarrollo socioeconómico y conservación de la biodiversidad

Unidad avaladora: Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas (IIQB)

4.8.63.0.87

Nombre del coordinador: Manolo José García Vettorazzi

Guatemala 28 de noviembre 2025



Informe final de Proyecto de Investigación

Contraportada

Autoridades de la Dirección General de Investigación

Dra. Alice Patricia Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Inga. Andrea Eunice Rodas Morán
Coordinadora del Programa Universitario de Investigación

Equipo de investigación

Manolo José García Vettorazzi, No. Registro de Personal 20020921
Mynor André Sandoval Lemus, No. Registro de Personal 20160774
Roberto Sebastián Siliezar López, No. Registro de Personal 20220468
Ammi María Rodríguez Castellanos, No. Registro de Personal 20250690
José Fernando Castillo Cabrera, No. Registro de Personal 20050715
Rosa Alejandra Roldán Díaz, No. Registro de Personal 20200364

Colaboradores:

Andrea Morales, Darío Asig, Daniel Castellanos y Carlos Salazar - Fundación ProPetén
Franklin Corado - Swiss Contact

El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la DIGI de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria número: 4.8.63.0.87 en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente (PUIRNA).

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

Este informe está licenciado bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

Puede copiarse, distribuirse y adaptarse con la condición de dar crédito a los autores, no usarlo con fines comerciales y compartir cualquier obra derivada bajo la misma licencia.

Para más información, visite: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>.



Informe final de Proyecto de Investigación

Índice general

Índice general	1
Resumen	5
Palabras clave	5
Abstract	5
Keywords	6
1. Introducción	6
2. Contexto de la investigación	9
3. Revisión de literatura	13
4. Planteamiento del problema	19
5. Objetivos	21
6. Método	22
6.1 Tipo de investigación	22
6.2 Enfoque y alcance de la investigación	22
6.3 Diseño de la investigación	22
6.4 Población, muestra y muestreo	23
6.4.1 Recolección de información	23
6.5 Técnicas	25
6.6 Resumen de las variables o unidades de análisis	26
6.7 Procesamiento y análisis de la información	29
6.7.1 Delimitación de redes ecológicas potenciales	29
6.7.2 Identificación de principales fuentes ecológicas	30
6.7.3 Identificación de áreas de importancia para la conectividad del paisaje	34
7. Aspectos éticos y legales	34
8. Resultados y discusión	35
8.1 Delimitación de la ubicación de redes ecológicas potenciales asociadas a especies amenazadas de vertebrados terrestres dentro de la ZAM	35
8.1.1 Patrón morfológico especial	35



Informe final de Proyecto de Investigación

8.2 Identificación de las principales fuentes ecológicas en la ZAM como sitios prioritarios para la conservación de especies amenazadas de vertebrados terrestres	39
8.2.1 Modelado de distribución potencial de especies seleccionadas	39
8.2.2 Conectividad funcional potencial: teoría de gráficos	43
8.2.3 Importancia como fuente ecológica	46
8.3 Identificación de áreas de importancia para la conectividad del paisaje en la ZAM como sitios prioritarios para la implementación de acciones de restauración ecológica y sistemas agroforestales	47
8.3.1 Muestreos para el registro de aves en la ZAM	47
8.3.2 Muestreo con trampas cámara	48
8.3.3 Conectividad funcional potencial: teoría de circuitos	51
9. Propiedad intelectual	56
10. Beneficiarios directos e indirectos	57
11. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados	59
12. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)	61
13. Vinculación	64
14. Conclusiones	65
15. Recomendaciones	66
16. Referencias	67
17. Apéndice	78

Índice de tablas

Tabla 1 Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación	26
Tabla 2 Número de registros y especies de aves en distintos usos del suelo en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en 2025	49
Tabla 3 Especies de vertebrados registradas con trampas cámara en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya	50
Tabla 4 Beneficiarios directos e indirectos de la investigación	57
Tabla 5 Actividades realizadas de divulgación y difusión del proyecto (Ver Apéndice I)	59



Informe final de Proyecto de Investigación

Índice de figuras

Figura 1 Mapa del área de estudio mostrando la Zona de Amortiguamiento (ZAM) de la Reserva de la Biosfera Maya en el norte de Guatemala	10
Figura 2 Zona de amortiguamiento y zonas núcleo de la reserva de la biosfera Maya en el departamento de Petén, Guatemala	12
Figura 3 Representación de la configuración espacial de una red ecológica para la conservación	14
Figura 4 Sitios de muestreo para el registro de aves y colocación de trampas cámara en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya	25
Figura 5 Cobertura forestal en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para 2024	35
Figura 6 Patrón morfológico espacial de la cobertura forestal 2024 en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya	36
Figura 7 Elementos de red a partir de la cobertura forestal 2024 en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya	38
Figura 8 Suma de mapas binarios de distribución de 21 especies de vertebrados con presencia dentro de la reserva de la biosfera Maya	41
Figura 9 Diferencial del índice integral de conectividad para redes ecológicas dentro de la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para 2024	44
Figura 10 Importancia como hábitat fuente de redes ecológicas dentro de la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para 2024	47
Figura 11 Mapa de resistencia del paisaje para una especie con alta sensibilidad y baja movilidad en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para 2024	52
Figura 12 Corredores biológicos potenciales en redes ecológicas dentro de la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya	53
Figura 13 Centralidad ráster de las diez redes con mayor importancia como hábitat fuente para la conectividad en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para 2024	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14 Áreas críticas para la conectividad dentro de corredores biológicos en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya	55
Figura 15 Barreras para la conectividad dentro de corredores biológicos para redes ecológicas en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya	56



Informe final de Proyecto de Investigación

Listado de apéndices

Apéndice A Registros de ocurrencia de especies compilados	78
Apéndice B Parámetros para elaboración de tabla de resistencia	80
Apéndice C Licencia de investigación otorgada por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas	81
Apéndice D Resultados generales del modelado de distribución potencial de especies seleccionadas	82
Apéndice E Resultados del modelado de distribución potencial por especie	84
Apéndice F Resultados de análisis de conectividad basado en la teoría de gráficos	104
Apéndice G Listados de especies registradas en muestreos de campo	110
Apéndice H. Valores de resistencia	118
Apéndice I. Actividades de divulgación y difusión de los resultados	121



Informe final de Proyecto de Investigación

Resumen

La Reserva de la Biosfera Maya (RBM) forma parte de la Selva Maya, un centro de biodiversidad a escala mundial. En la actualidad, instituciones de gobierno, oenegés locales y la cooperación internacional promueven la denominada transición ecológica del Petén por medio de programas que promueven el desarrollo socioeconómico basado en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad. Con el fin de orientar la planificación espacial de estas acciones se requiere de insumos científicos generados por la academia. El principal criterio propuesto en los distintos programas para utilizar como guía ha sido la conectividad ecológica. El objetivo del estudio fue la generación de insumos para la planificación espacial de acciones de restauración ecológica y adaptación en sistemas productivos en la Zona de Amortiguamiento de la RBM. El estudio se desarrolló en conjunto con la fundación ProPetén y Swiss Contact. La delimitación espacial de redes ecológicas potenciales estuvo basada en análisis de conectividad estructural y funcional potencial, así como en modelado de la distribución de especies amenazadas en un contexto de cambio climático. También se realizaron muestreos de campo para el registro de vertebrados en parcelas donde se implementan sistemas agroforestales. Se identificaron redes ecológicas potenciales, sitios de importancia como hábitat para especies de fauna y áreas de alto valor para la conectividad. Los resultados se socializaron con socios locales, propietarios de parcelas donde se realizaron muestreos y alumnos de primaria en la comunidad El Porvenir. Los resultados servirán para las instituciones que promueven la transición ecológica de Petén.

Palabras clave

1. Biodiversidad	2. RBM	3. Conservación ambiental	4. Reservas de la biosfera	5. Cambio climático
------------------	--------	---------------------------	----------------------------	---------------------

Abstract

The Maya Biosphere Reserve (MBR) is part of the Maya Forest, a global biodiversity hotspot. Currently, government institutions, local NGOs, and international cooperation



Informe final de Proyecto de Investigación

agencies are promoting the so-called ecological transition of Petén through programs that foster socioeconomic development based on the conservation and sustainable use of biodiversity. To guide the spatial planning of these actions, scientific inputs generated by academia are required. The main criterion proposed in the various programs as a guide has been ecological connectivity. The objective of this study was to generate inputs for the spatial planning of ecological restoration and adaptation actions in productive systems within the MBR Buffer Zone. The study was conducted in conjunction with the ProPetén Foundation and Swiss Contact. The spatial delimitation of potential ecological networks was based on analyses of potential structural and functional connectivity, as well as on species distribution models in a climate change context. Field sampling was also carried out to record vertebrates in plots where agroforestry systems are being implemented. Potential ecological networks, important habitat sites for fauna species, and areas of high connectivity value were identified. The results were shared with local partners, landowners where sampling took place, and elementary school students in the El Porvenir community. These findings will be useful for institutions promoting the ecological transition in Petén.

Keywords

1. Biodiversity 2. Biosphere Reserves 3. Environmental Conservation 4. Biosphere Reserves 5. Climate Change

1. Introducción

Desde el 2010 Guatemala ha sido reconocida entre los 19 países megadiversos, mismos que albergan aproximadamente el 70% de la biodiversidad mundial, por lo que son de gran relevancia para la humanidad derivado de beneficios ambientales que brindan los distintos ecosistemas (Larsen et al., 2012). Sin embargo, la tendencia de las últimas décadas a una continua pérdida y degradación de áreas naturales pone en riesgo estos beneficios para las sociedades, especialmente aquellas cuyos medios de vida dependen del uso sostenible de la biodiversidad. A lo que se suman las proyecciones de cambio climático, con lo que se predice que se agravará la crisis ambiental y aumentarán los riesgos para la población (Rivera et al., 2020).



Informe final de Proyecto de Investigación

La Reserva de la Biosfera Maya (RBM) en el departamento de Petén en el norte de Guatemala, forma parte de la Selva Maya, territorio reconocido a escala mundial como un centro de biodiversidad (Conservation International, 2004). Dada la relevancia de este territorio derivado de su elevada biodiversidad, actualmente, diversos programas promovidos por gobiernos e instituciones locales con el apoyo de la cooperación internacional buscan la denominada transición ecológica o transición verde del departamento de Petén, por medio de promover el desarrollo socioeconómico basado en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad. A través de estos programas existirá una inversión significativa de la cooperación internacional hacia la RBM de varios millones de dólares, para la implementación de acciones que conlleven a dicha transición ecológica, especialmente en la Zona de Amortiguamiento (ZAM) donde se permite el desarrollo de sistemas productivos.

Debido a lo anterior, es necesario contar con insumos técnicos y científicos que apoyen la toma de decisiones, orienten la priorización de localidades específicas para la implementación de acciones y permitan evaluar el impacto de los distintos programas. Un criterio que ha sido seleccionado por dos de estos programas en los cuales colabora la Universidad de San Carlos (USAC) a través del Centro de Estudios Conservacionistas (Cecon) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, es la conectividad ecológica. Por lo cual, se hace necesario que se generen insumos derivados desde la USAC como representante de la academia y a la vez institución administradora de zonas núcleo de la RBM.

A escala mundial, el criterio de la conectividad ecológica con relación a la planificación y manejo del paisaje ha sido abordado desde el modelo de redes ecológicas para la conservación, el cual permite la integración de elementos de conservación y elementos productivos con el fin de preservar el funcionamiento de los ecosistemas en beneficio a la sociedad (Ankersen, 1994; Bennett, 2004; Bennett & Mulongoy, 2006; Bennett & Wit, 2001; Hilty et al., 2020; Lu et al., 2022; UNEP & CMS, 2014; Wang et al., 2022; Xiao et al., 2020; Zhai & Huang, 2022; Zhou & Song, 2021; Zhou et al., 2021). Debido a lo anterior, se propone



Informe final de Proyecto de Investigación

la adopción de este modelo en el presente estudio con el fin de generar insumos para la ZAM de la RBM.

En la última década, el Cecon ha generado insumos teóricos a través de investigación, orientados a comprender las dinámicas naturales de los ecosistemas y su respuesta frente al cambio climático, con aplicación en los programas de administración de la RBM (García et al., 2015; García et al., 2023). De modo que, en el presente proyecto, al integrar la información generada previamente por García et al. (2015) con respecto a la dinámica de la regeneración natural y García et al. (2023) con respecto al impacto del cambio climático en la distribución de especies amenazadas, en el enfoque de redes ecológicas, se tendrá una interpretación de la información más completa, ya que se podrán identificar áreas de alto valor para la biodiversidad y potenciales corredores biológicos asociados a las áreas de importancia ecológica y que complementan su funcionalidad.

El objetivo general de la presente propuesta fue generar aportes científicos a través de la academia como un aporte para la planificación territorial orientada a la conservación, restauración y uso sostenible de la biodiversidad en la ZAM de la RBM en un contexto de cambio climático. Para lo cual, se delimitaron espacialmente redes ecológicas potenciales asociadas a especies amenazadas de vertebrados terrestres. La delimitación espacial de las redes ecológicas se realizó con análisis de conectividad estructural y funcional potencial basados en las teorías de gráficos y de circuitos, así como en la importancia como hábitat para especies amenazadas considerando posibles cambios en la distribución de éstas en respuesta del cambio climático. La conectividad estructural se determinó a través de un análisis del patrón morfológico espacial y la conectividad potencial funcional a través de la estimación del diferencial del índice integral de conectividad y la resistencia del paisaje al movimiento de las especies.

Los principales resultados del presente estudio fueron de carácter teórico y consistieron en mapas digitales de las redes ecológicas potenciales, así como de sitios prioritarios para la conservación y sitios prioritarios para la restauración ecológica y transición de los sistemas productivos. Los resultados obtenidos pueden ser aplicados en programas orientados a la



Informe final de Proyecto de Investigación

transición ecológica de Petén, específicamente la oenegé internacional Swisscontact y la oenegé nacional ProPetén, instituciones de gobierno y otros socios locales, así como la mancomunidad para el desarrollo sostenible de los municipios de la cuenca del lago Petén Itzá.

2. Contexto de la investigación

La Zona de Amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Maya

El presente estudio se delimitó al territorio de la ZAM de la RBM (Figura 1). La ZAM, es la zona de la RBM en la cual se permite el desarrollo de actividades productivas compatibles con la conservación de la biodiversidad. Está delimitada como una franja de 15 km de ancho alrededor del límite de la RBM en el territorio guatemalteco, abarcando un total de 497,500 ha que representan el 24% de la RBM (Consejo Nacional de Áreas Protegidas [Conap], 2015). Esta zona posee sitios de importancia natural y cultural, así como centros poblados incluidas dos cabeceras municipales y cuatro aldeas. Es administrada por el Conap en coordinación y apoyo con administraciones incluyendo a la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) a través del Cecon.

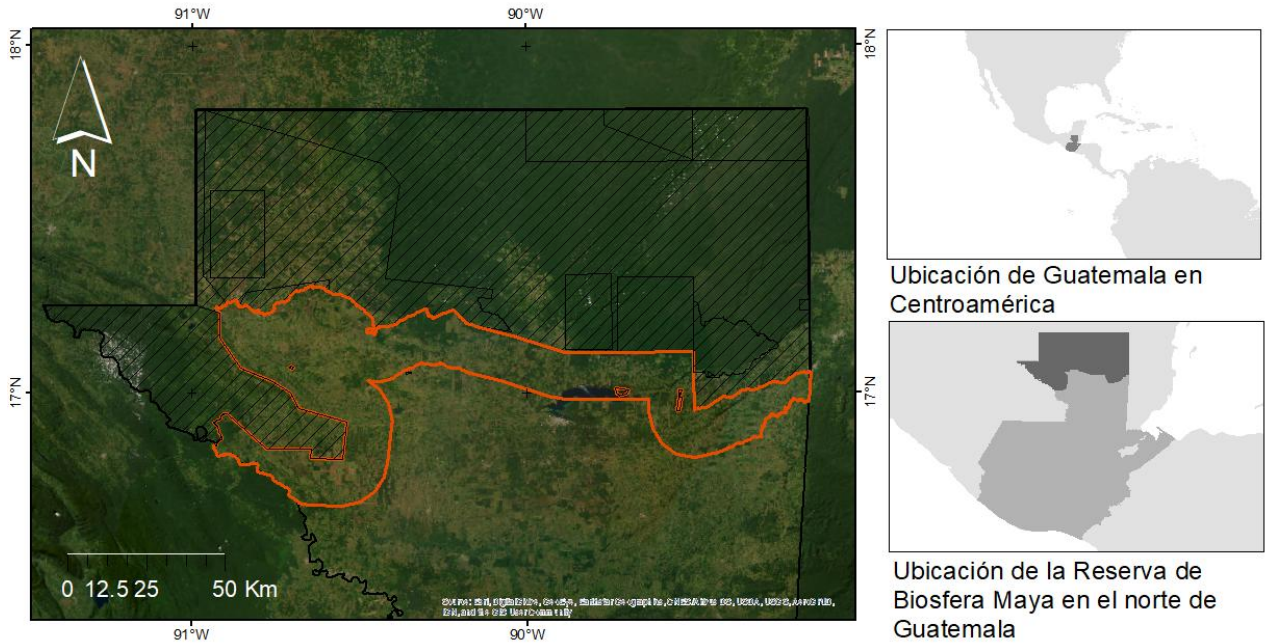
La transición ecológica de Petén y la cooperación internacional

Debido a la importancia ecológica, social y económica que representa la RBM y en específico de la ZAM, en la actualidad, a través de instituciones de gobierno, instituciones y autoridades locales y la cooperación internacional se promueve la denominada transición verde o ecológica del Petén, la cual busca vincular el desarrollo socioeconómico con la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Por medio de la implementación de distintos programas, se proyecta convertir a los sistemas agrícolas, ganaderos y forestales para su adaptación al cambio climático.

Informe final de Proyecto de Investigación

Figura 1

Mapa del área de estudio mostrando la Zona de Amortiguamiento (ZAM) de la Reserva de la Biosfera Maya en el norte de Guatemala



Nota. En color anaranjado se muestra el contorno de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Maya y color negro las zonas núcleo y de usos múltiples. En el fondo se muestra la imagen satelital por Esri et al. (2024).

Un ejemplo de ello es el programa “Paisajes mayas sostenibles del Petén” impulsado por la Unión Europea y la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) en conjunto con instituciones locales para lo cual se destinarán más de 400 millones de quetzales en los próximos seis años (Sandoval, 2022; Swisscontact, 2024). De manera similar, la Agencia de EE. UU. para el Desarrollo Internacional (USAID por sus siglas en inglés) con instituciones y autoridades locales y socios internacionales como Rainforest Alliance, impulsaron distintos programas para promover prácticas sostenibles en los sistemas productivos en un contexto de cambio climático, incluyendo aquellos sistemas productivos dentro de la RBM con énfasis en la ZUM y la ZAM, como es el caso de los programas “Conservación de la biodiversidad en Guatemala” y “Paisajes + prósperos y



Informe final de Proyecto de Investigación

resilientes” con presupuestos de 25 y 30 millones de dólares respectivamente (Loarca Oliva, 2024).

Así mismo, el programa “Paisajes resilientes y biodiversos del norte de Mesoamérica” impulsado por la cooperación del Reino Unido y la Sociedad para la Conservación de la Vida Silvestre (WCS por sus siglas en inglés) promueve la reducción de la pobreza y crear desarrollo sostenible para comunidades que viven y dependen de áreas de alto valor para biodiversidad, incluida la RBM para Guatemala (Wildlife Conservation Society, 2024). Este programa será implementado del 2023 al 2029. Otro programa que busca fomentar la transición ecológica del Petén a través del desarrollo socioeconómico vinculado a la protección y usos sostenible de la biodiversidad es el impulsado por la cooperación de Alemania (GIZ por sus siglas en alemán) a través del Equipo Europa y el gobierno de Guatemala, por medio de la iniciativa Global Gateway – Petén más sostenible que encuentra ya en implementación hasta el año 2027.

Delimitación espacial para la investigación

El estudio se delimitó a la ZAM de la RBM (Figura 1 y Figura 2). Para los análisis espaciales se proyectó un buffer de 5 km alrededor de la ZAM para incluir el contexto de las áreas que la rodean. Si bien el proyecto se centró en la ZAM de la RBM, para los análisis espaciales relacionados con el modelado de la distribución potencial de especies amenazadas se consideró su área de distribución conocida con el fin de evitar truncar el nicho ecológico, y posteriormente se extrajo el resultado para el área de estudio, a partir del resultado regional. Debido a lo anterior, los análisis espaciales, incluyeron toda la RBM y zonas contiguas en la Selva Maya para tener un contexto regional, que posteriormente fue delimitado para la ZAM.

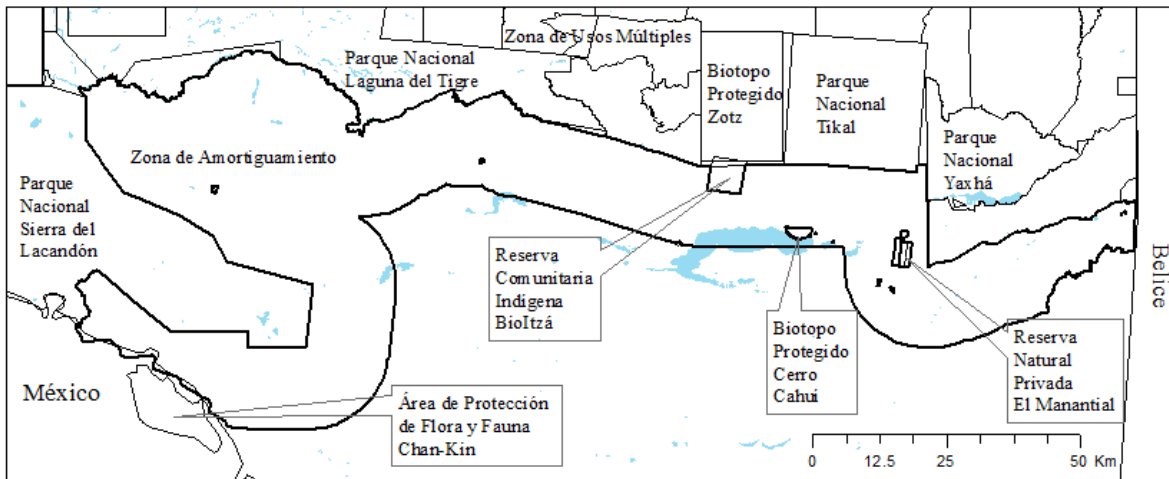
Informe final de Proyecto de Investigación

Delimitación temporal para la investigación

Los datos utilizados corresponden a distintas temporalidades como se describe a continuación, sin embargo, los análisis se enfocaron en brindar insumos para el período del 2020 al 2024. La información espacial de condiciones bioclimáticas utilizada corresponde a los escenarios histórico (1970 – 2000) y futuro (2041-2060). Para el modelado de la distribución potencial de especies amenazadas se compilieron registros de ocurrencias colectados en el período 1980-2025. Para la información sobre la cobertura y uso del suelo se utilizó el mapa del Environmental Systems Research Institute (ESRI) con una resolución de 10 m para el año 2024 (Karra et al., 2021). Esta investigación se realizó en el 2025.

Figura 2

Zona de amortiguamiento y zonas núcleo de la reserva de la biosfera Maya en el departamento de Petén, Guatemala



Nota. Biotopo protegido Zotz = biotopo protegido San Miguel La Palotada El Zotz y Parque nacional Yaxhá = parque nacional Yaxhá Nakum Naranjo. Los cuerpos de agua se muestran de color azul.



Informe final de Proyecto de Investigación

3. Revisión de literatura

Las redes ecológicas para la conservación

A escala global, la tendencia a la continua disminución de la cobertura bosques naturales, ha conducido a la disminución de poblaciones de especies de flora, fauna y funga y a la degradación de ecosistemas, aumentando la vulnerabilidad de poblaciones humanas y medios de vida que dependen de los bienes y servicios ambientales que derivan de la biodiversidad. Con el fin de minimizar los impactos negativos de esta pérdida y fragmentación de bosques naturales en un contexto de cambio climático, se ha planteado el modelo de redes ecológicas para la conservación dentro del ámbito de la planificación ambiental y de ordenamiento territorial. Este enfoque permite que la información relacionada con la biodiversidad tenga una representación espacial, considerando la conectividad ecológica y además aspectos sociales como la gestión y administración del territorio, a través de la identificación de la estructura del paisaje (Hilty et al., 2020; Todaro, 2007).

Con el fin de tener una definición en común, Hilty et al. (2020) plantearon la siguiente definición: “Una red ecológica para la conservación es un sistema de hábitats núcleo (áreas protegidas, otras medidas de conservación locales y otras áreas naturales intactas), conectadas por corredores ecológicos, la cual es establecida, restaurada de acuerdo a las necesidades y preservada para conservar la biodiversidad en sistemas que han sido fragmentados” (p 14). Esta definición será la que se adopte en el presente proyecto.

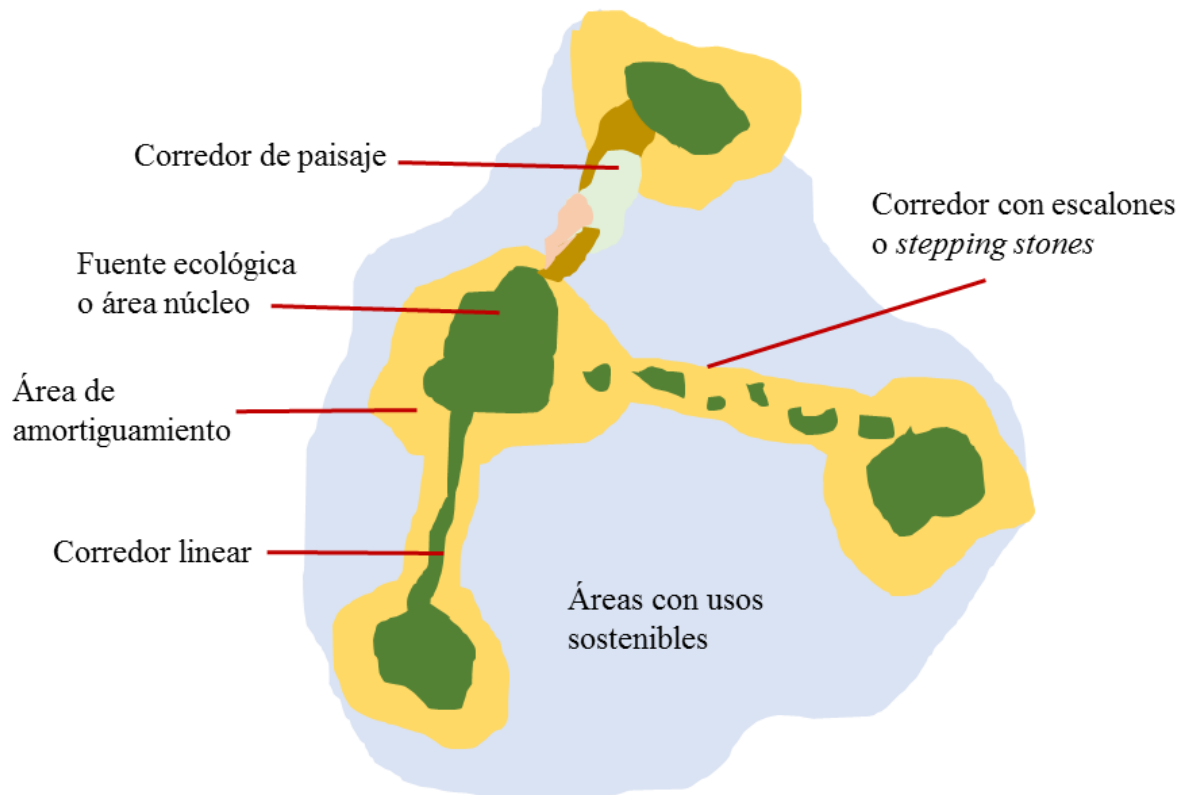
Las redes ecológicas para la conservación están compuestas de los siguientes elementos: 1) áreas de alto valor para la conservación de la diversidad, hábitats núcleo o fuentes ecológicas, como el caso de áreas protegidas, áreas naturales intactas o áreas conservadas a través de medidas de gobernanza local, 2) áreas de amortiguamiento para las áreas clave con el fin de reducir los efectos de actividades externas potencialmente dañinas y 3) áreas de conectividad con énfasis en mantener la coherencia ecológica a través de proveer oportunidades para la conectividad, tales como corredores biológicos (Bennett & Mulongoy, 2006; Boitani et al., 2007; Hilty et al., 2020). También se consideran áreas de amortiguamiento alrededor de las fuentes ecológicas para minimizar los impactos negativos de amenazas. En la **Figura 3** se

Informe final de Proyecto de Investigación

muestra una representación de la configuración espacial de una red ecológica, incluyendo los distintos elementos que la componen.

Figura 3

Representación de la configuración espacial de una red ecológica para la conservación



Nota. Basado en Bennett & Mulongoy (2006). En color verde oscuro se presentan las fuentes ecológicas o áreas núcleo que pueden ser áreas protegidas o áreas naturales bien conservadas. En color amarillo se muestran las áreas de amortiguamiento que se ubican alrededor de las fuentes ecológicas y corredores lineales. Se muestran tres tipos de corredores: a) lineal, compuesto por elementos lineales en el paisaje de hábitat natural conectados estructuralmente, b) de paisaje, compuesto por usos del suelo que permiten el movimiento de especies entre fuentes ecológicas y c) de escalones o *stepping stones*, compuesto por remanentes de hábitat no conectados estructuralmente entre sí, pero que se encuentran dentro



Informe final de Proyecto de Investigación

del rango de distancia a la cual las especies son capaces de moverse fuera de su hábitat, permitiendo la conectividad entre fuentes ecológicas.

De este modo, el enfoque de redes ecológicas representa una aproximación funcional del paisaje que promueve la conectividad entre áreas de importancia para la biodiversidad en paisajes fragmentados, a modo de recuperar o mantener la coherencia ecológica de los ecosistemas (United Nations Environment Programme [UNEP] & Convention on Migratory Species [CMS], 2014). Asimismo, los elementos sociales son también esenciales, de modo que las redes ecológicas son el resultado de la interacción entre las estructuras de gobernanza, los distintos actores y usuarios, el entorno y la biodiversidad (Jongman, 1995). De este modo, es posible identificar también actores sociales asociados a estas redes que pueden promover su conservación y restauración, integrando la dimensión social asociada a los distintos territorios.

El modelo de redes ecológicas para la conservación provee una aproximación que permite integrar información ecológica y socio ambiental en una representación espacial, como una herramienta para la conservación de la biodiversidad (Jongman, 1995, Todaro, 2007). A través de las redes ecológicas para la conservación se pueden representar requerimientos ecológicos de las especies, que dejan de ser abstractos para convertirse en una representación en el espacio, la cual puede integrarse en planes de planificación y ordenamiento territorial y de desarrollo y por lo tanto permite maximizar los recursos para la conservación y compatibilizar con otros usos del territorio con una perspectiva de paisaje (Zhai & Huang, 2022).

El desarrollo del concepto de redes ecológicas para la conservación se basa principalmente en fundamentos de la ecología del paisaje como la teoría de biogeografía de islas, teoría de metapoblaciones y parche-corredor-matriz (Forman, 1995; Forman & Godron, 1986; Hanski, 1999; Hilty et al., 2020; McArthur & Wilson, 1967; McCullough, 1996). A partir de estas teorías se estableció el concepto de redes ecológicas, el cual ha ido evolucionando a través del tiempo, variando en su denominación, así como en los objetivos de acuerdo con cada iniciativa que se ha implementado a nivel mundial (Jongman, 1995; UNEP & CMS, 2014).



Informe final de Proyecto de Investigación

Adopción del modelo de redes ecológicas para la planificación espacial

El modelo de redes ecológicas para la conservación ha ido evolucionando a partir de teorías de la ecología del paisaje, y los resultados de las experiencias obtenidas por distintas iniciativas a nivel regional o nacional. Estonia fue el primer país en aplicar el concepto al crear la Estonian Network of Ecologically Compensating Areas en 1970. En las últimas décadas, países de Europa como Holanda, Polonia, Ucrania, Eslovaquia, Hungría y Bielorrusia han implementado el modelo de redes ecológica dentro de la legislación y planes de ordenamiento territorial y de desarrollo; en la actualidad, todos los países miembros de la unión europea están obligados a implementar medidas para mantener la conectividad (Bennett & Mulongoy, 2006; Jongman & Bogers, 2008; Jongman et al., 2004; Hilty et al., 2020).

Asimismo, el modelo de redes ecológicas ha ganado reconocimiento internacional al ser integrado en las recomendaciones derivadas de las conferencias de las partes (COP) del Convenio de Biodiversidad (CBD por sus siglas en inglés), así como en otras iniciativas de conservación. A partir de distintas resoluciones en las COP, así como en los congresos mundiales de conservación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), se han realizado recopilaciones de información y experiencias relacionadas con redes ecológicas con el fin de promover la adopción de este enfoque en el manejo de áreas protegidas y desarrollo de políticas públicas de ordenamiento territorial (Bennett, 2004; Bennett & Mulongoy, 2006; Bennett & Wit, 2001; UNEP & CMS, 2014). A nivel global se reconoce la falta de conectividad transnacional y la necesidad de realizar más investigación y compilar información acerca de las redes ecológicas (UNEP & CMS, 2014).

El modelo de redes ecológicas para la conservación y su integración en estrategias para la conservación de la biodiversidad, en especial el CDB, ha continuado en los años recientes, ganando mayor reconocimiento en el ámbito de la planificación ambiental y territorial. En la COP 13 en 2020 se enfatizó nuevamente sobre el rol importante que desempeñan las redes ecológicas existentes en mantener la conectividad a nivel mundial, con énfasis en las especies



Informe final de Proyecto de Investigación

migratorias (Convention on Migratory Species [CMS], 2020). Lu et al. (2022) presentaron una evaluación de 1,371 manuscritos relacionados con las redes ecológicas, siendo la conectividad uno de los temas más recurrentes, también los enfoques multidisciplinarios han cobrado relevancia y los análisis espacio temporales y diseño participativo de redes son una temática emergente.

En el marco de los objetivos del milenio en el marco Post-2020, en los objetivos para el 2050 y metas al 2030 se incluye a la conectividad como un componente importante de la integridad de los ecosistemas, la cual se espera aumentar en al menos 5% de su extensión (Convention on Biological Diversity [CDB], 2021). Por lo que, se considera a la conectividad de los sistemas ecológicos como un elemento relevante en el marco Post-2020 y los retos venideros, incluyendo los derivados del cambio climático.

Con respecto a los enfoques empleados y metodologías para la delimitación y análisis de redes ecológicas, en estudios recientes se han utilizado análisis de redes y estimación de la conectividad estructural, incluyendo el análisis del patrón morfológico espacial, así como la conectividad funcional potencial, esta última tanto con el enfoque de la teoría de gráficos como con la teoría de circuitos, empleando distintos programas computacionales (Albert et al., 2017; Huang, Wang, Fang et al., 2021; Huang, Wang, Shan et al., 2021b; Keeley et al., 2021; Tang et al., 2021; Wang et al., 2022; Xiao et al., 2020; Zhai & Huang, 2022; Zhou & Song, 2021; Zhou et al., 2021). También se ha resaltado el aporte del modelo de redes ecológicas como estrategia frente al cambio climático (D'Aloia et al., 2019). En cuanto a la implementación de redes ecológicas para la conservación, a nivel mundial se han planteado diversas experiencias en África, Asia, Australia, Europa y América tanto en ambientes terrestres y dulceacuícolas, así como a escala regional y nacional, y en algunos casos con un normativo asociado (Ankersen, 1994; Bennett, 2004; Bennett & Mulongoy, 2006; Bennett & Wit, 2001; Hilty et al., 2020; UNEP & CMS, 2014).



Informe final de Proyecto de Investigación

Uso de información espacial de biodiversidad para la planificación espacial en Guatemala

Para Guatemala no se identificaron experiencias donde se implemente el enfoque de redes ecológicas para la conservación para la planificación espacial, sin embargo, hay algunas experiencias con respecto a la aplicación de información espacial de especies amenazadas para la planificación territorial. Del 2007 al 2010 se desarrolló el análisis de vacíos terrestres a través de la integración de información espacial de especies de flora y fauna presentes en el país (Consejo Nacional de Áreas Protegidas [Conap], 2010; Vielman & Jolón, 2010). En este estudio se propuso un portafolio de sitios de interés para la conservación y una serie de corredores biológicos para interconectarlos, sirviendo de guía para el establecimiento de nuevas áreas protegidas y propuestas de corredores biológicos.

En 2014 se realizó un análisis de conectividad para una sección de la ZAM, vinculado a estrategias de restauración ecológica basado en la teoría de gráficos, considerando las áreas con cobertura de bosques maduros, así como áreas con vegetación secundaria en regeneración (García et al., 2015). En dicho estudio a partir de análisis de conectividad basados en la teoría de gráficos se identificaron distintos elementos conectores presentes en la ZAM y así como remanentes con cobertura natural prioritarios para la conservación y la restauración ecológica. En el 2022, se mejoró la delimitación de áreas de importancia para especies amenazadas en el territorio nacional, con base en el modelado de la distribución potencial de 47 especies de vertebrados amenazados, tanto para condiciones bioclimáticas actuales como las proyectadas a futuro en un largo plazo para el período 2081-2100 (García et al., 2023). En este último estudio, se encontró una alta vulnerabilidad a los efectos potenciales del cambio climático para la región oeste del departamento de Petén, siendo una de las regiones con mayor amenaza del país, donde se proyecta una disminución en la probabilidad de ocurrencia de especies amenazadas seleccionadas.



Informe final de Proyecto de Investigación

Adaptación de sistemas productivos en la ZAM

La ZAM, con una extensión de 497,500 hectáreas que representan el 24% de la RBM, contiene aproximadamente al 56% de la población de la reserva. Para el 2007 se estimaba una población de 94,164 habitantes en 118 poblados (Conap, 2015). Las principales actividades económicas son la agricultura, tanto tradicional como de subsistencia, la ganadería en fincas pequeñas y extensivas, el manejo forestal incluyendo plantaciones forestales, el turismo y la extracción de petróleo (Conap, 2015). Derivado de estas actividades, se ha perdido la cobertura forestal, siendo ocupado un 70% de su extensión para actividades agropecuarias (del cual se estima que un 80% son potreros), 5% otras actividades y 25% con bosques remanentes.

Dada la extensión del territorio de la ZAM utilizada para potreros y la necesidad de mejorar el nivel de vida de la población (se estima que el 60% son pobres o extremadamente pobres), en el marco de la transición verde de Petén, a través de los distintos programas de instituciones locales e internacionales, se está proponiendo la adopción de herramientas de manejo del paisaje como los sistemas agroforestales (SAF) y sistemas silvopastoriles (SSP). A través de estas herramientas se busca mejorar tanto condiciones ambientales como socioeconómicas (Selva Maya, 2025; SwissContact, 2024). Otras actividades productivas impulsadas por los programas incluyen la producción de miel, utilización de la semilla de ramón, turismo comunitario, así como aprovechamiento de chicle natural, xate y madera (Selva Maya, 2025).

4. Planteamiento del problema

Como se mencionó previamente, a través de distintos programas impulsados por instituciones locales, tanto gubernamentales como no gubernamentales, con el apoyo de la cooperación internacional se impulsa la denominada transición ecológica o verde de Petén a través de la cual se busca promover el desarrollo socioeconómico de la región por medio de la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en un marco de adaptación al cambio climático (Swisscontact, 2024). Estos programas representan una inversión de la cooperación



Informe final de Proyecto de Investigación

internacional de más de 500 millones de quetzales en los próximos años para la región (Sandoval, 2022). El Cecon de la USAC forma parte o colabora con algunos de estos programas, tanto como institución académica como institución administradora de zonas núcleo de la RBM.

Con el fin de guiar las acciones que se implementan en estos programas, así como la evaluación de su efectividad a través del tiempo, surge la necesidad de contar con insumos técnicos y científicos generados desde la academia que apoyen la planificación espacial de las intervenciones, optimización de recursos y maximización del impacto en la conservación de la biodiversidad. La utilización de criterios científicos para la priorización de sitios para la conservación y la restauración permitirá que las acciones tengan un mayor impacto, tanto para la biodiversidad como para las comunidades y productores locales.

Entre los distintos componentes de algunos de estos programas se ha propuesto a la conectividad ecológica como un criterio de referencia para la priorización de sitios donde implementar actividades orientadas a la restauración ecológica y a la transformación de sistemas productivos. De manera similar, se ha propuesto la conectividad como un criterio para evaluar el impacto de las acciones implementadas por los distintos programas a través del tiempo. Dado que la conectividad ecológica se determina en función del movimiento de especies específicas, es recomendable contar con información actualizada para las especies amenazadas seleccionadas como elementos naturales de conservación en el plan maestro de la RBM (Conap, 2015). Así mismo, dado que se ha identificado a la RBM como un sitio con alta vulnerabilidad al cambio climático (García et al., 2023), los análisis de conectividad deben incluir este aspecto. Sin embargo, existen pocos insumos técnicos y científicos relacionados con análisis de conectividad que además incorporen información de especies amenazadas en un contexto de cambio climático o algunos insumos existentes se encuentran desactualizados.

Dado que el modelo de redes ecológicas para la conservación permite integrar elementos naturales de los ecosistemas con elementos socioeconómicos en un contexto de conectividad y coherencia ecológica (Hilty et al., 2020), se consideró que el enfoque de redes ecológicas



Informe final de Proyecto de Investigación

se adecua al entorno de la ZAM y brindó insumos valiosos para la planificación espacial de las distintas iniciativas que se están implementando, incluyendo una perspectiva de especies amenazadas de fauna en un contexto de cambio climático.

Para el desarrollo del estudio se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuáles son los sitios prioritarios para la conservación y la restauración de la biodiversidad en la ZAM de la RBM, en el marco de la transición verde de Petén?

¿Cuáles son las principales redes ecológicas potenciales asociadas a especies amenazadas en un contexto de cambio climático para la ZAM de la RBM? ¿Cuál es su ubicación, extensión y disposición en el espacio?

¿Cuál es la ubicación, extensión y disposición en el espacio de las principales fuentes ecológicas y áreas de alto valor para la conectividad?

5. Objetivos

General:

Generar insumos científicos desde la academia que sirvan para orientar la planificación espacial de acciones de restauración ecológica y adaptación en sistemas productivos por programas de desarrollo orientados a la denominada transición verde de Petén en la Zona de Amortiguamiento (ZAM) de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) en un contexto de cambio climático.

Específicos:

- Delimitar la ubicación de redes ecológicas potenciales asociadas a especies amenazadas de vertebrados terrestres dentro de la ZAM con base en análisis de conectividad el paisaje.



Informe final de Proyecto de Investigación

- Identificar a las principales fuentes ecológicas en la ZAM como sitios prioritarios para la conservación de especies amenazadas de vertebrados terrestres utilizando modelos de distribución potencial con escenarios históricos y futuros.
- Identificar áreas de importancia para la conectividad del paisaje en la ZAM como sitios prioritarios para la implementación de acciones de restauración ecológica y sistemas agroforestales.

6. Método

6.1 Tipo de investigación

El presente estudio consistió en una investigación aplicada.

6.2 Enfoque y alcance de la investigación

El enfoque del estudio fue cuantitativo, ya que la delimitación espacial de las redes ecológicas potenciales se basó en análisis espaciales que utilizaron información y realizaron operaciones espaciales cuantitativas. El alcance del estudio fue descriptivo.

6.3 Diseño de la investigación

El estudio se basó principalmente en métodos para análisis ecológicos y espaciales empleados para el análisis de redes ecológicas, con aplicaciones computacionales para su implementación. De manera general, el método para la delimitación espacial de las redes ecológicas consistió en la identificación de fuentes ecológicas con base en su importancia como hábitat. Posteriormente, se delimitaron áreas de amortiguamiento y corredores biológicos potenciales con base en análisis de conectividad estructural y conectividad funcional potencial del paisaje.

Para el trabajo de campo no se utilizó un enfoque experimental. Se seleccionaron cinco sitios de muestreo para el registro de aves a conveniencia, con base en los recursos logísticos



Informe final de Proyecto de Investigación

disponibles. Tanto para el trabajo de campo como para los análisis espaciales realizados el estudio fue de tipo transversal.

6.4 Población, muestra y muestreo

6.4.1 Recolección de información

Registros de ocurrencia (fuentes secundarias)

Para el proyecto se utilizó tanto información disponible en línea, así como datos disponibles en la base de datos de patrimonio natural del CDC, como se describe a continuación:

Para el modelado de la distribución potencial de especies amenazadas se utilizaron registros de ocurrencia (presencia) de especies seleccionadas que contenían información espacial asociada disponibles en la Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y en el CDC del Cecon. Para la selección de especies potenciales para modelar su distribución se elaboró un listado de especies amenazadas o con distribución restringida (endémicas de Guatemala o regionales) con presencia en la RBM utilizando como referencia literatura, la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y la base de datos del CDC. Este listado incluyó 72 especies de vertebrados (12 anfibios, 25 reptiles, 15 aves y 20 mamíferos), de las cuales se descargaron registros de ocurrencias (Global Biodiversity Information Facility, 15 de mayo 2025; 16 de mayo 2025; 19 de mayo 2025a; 19 de mayo 2025b).

Posteriormente, con base en el número de registros disponibles se seleccionaron 21 especies para modelado de su distribución potencial. De los registros seleccionados para cada una de estas especies se seleccionó una muestra aleatoria del 70% de los registros para la generación del modelo y el 30% restante se utilizó para la validación del mismo. Con respecto a los modelos de distribución potencial, se realizaron 25 réplicas para cada modelo utilizando como método de remuestreo Bootstrap y se seleccionó el modelo que representa la mediana.



Informe final de Proyecto de Investigación

Datos espaciales de variables bioclimáticas y cobertura y uso del suelo

Los datos de variables bioclimáticas para los modelados de distribución potencial, tanto en condiciones históricas (actuales) como para proyecciones a futuro (modelos ACCESS-CM2, MPI-ESM y EC-Earth3-Veg para los escenarios spp 126 y 585) fueron descargadas del sitio Worldclim (Fick & Hijmans, 2017) con una resolución de ~1 km².

Como base para los análisis del patrón morfológico espacial y análisis de conectividad se utilizó el mapa de uso del suelo de la ESRI para el año 2024 (Karra et al., 2021).

Muestreo en campo para el registro de aves (fuente primaria)

Se realizaron muestreos de campo para el grupo de las aves en cinco parcelas donde se implementan SAF (Figura 4), a través de puntos de conteo con base en el protocolo de Programa de América Latina para las Aves Silvestres (Ruiz Gutierrez et al., 2020). En cada sitio se estableció un transecto con cuatro puntos de conteo donde se implementó la observación y detección auditiva de aves con apoyo de la aplicación Merlin Bird ID de la universidad de Cornell en un radio de 30 m. Los puntos de conteo se establecieron en distintos usos del suelo dentro de las parcelas. La sistematización de los registros se realizó mediante la aplicación eBird, generando un listado de especies por sitio de muestreo.

Muestreo en campo con trampas cámara (fuente primaria)

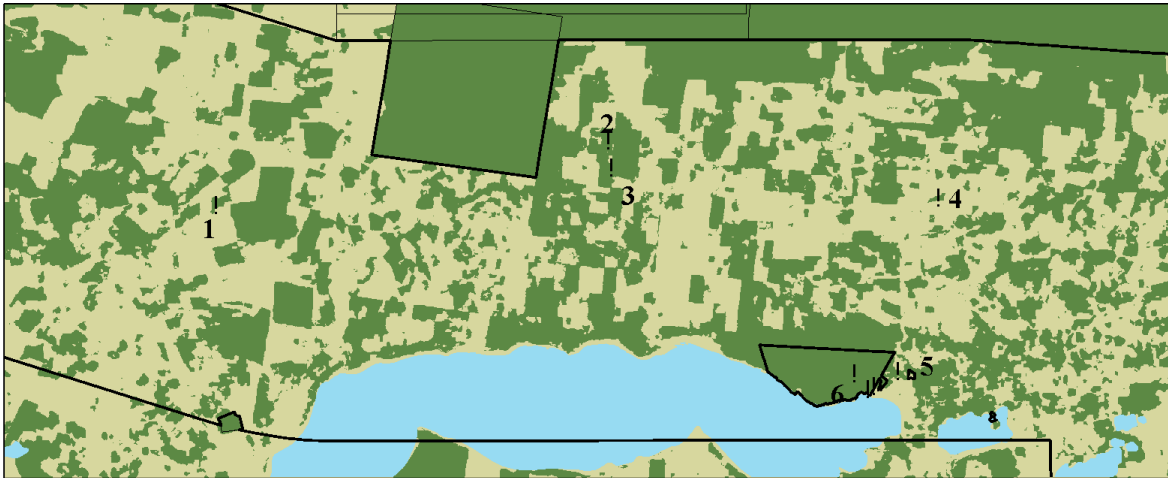
Adicionalmente, en cada uno de los sitios de muestreo para el registro de aves, así como en el BPCC se instalaron estaciones de muestreo con trampas cámara para el registro de especies de vertebrados (Figura 4). En cada parcela se instaló una estación con una cámara y en el BPCC se instalaron tres estaciones. En las parcelas las cámaras se colocaron en remanentes de bosque. Se utilizaron cámaras trampa marca Bushnell modelo Trophy Cam Agressor No Glow, la cuales se programaron para estar activas las 24 h tomando fotografías con el menor

Informe final de Proyecto de Investigación

tiempo entre eventos de acuerdo al modelo (entre 0.7 y 1 s). El muestreo se realizó de julio a septiembre 2025. Para el BPCC y una de las parcelas el muestreo inició en junio.

Figura 4

Sitios de muestreo para el registro de aves y colocación de trampas cámara en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya



Nota. Los círculos negros indican los sitios de instalación de trampas cámara. Los sitios de muestreo para el registro de aves corresponden a los sitios 1-5. Se muestran los cuerpos de agua en color azul y la cobertura forestal en color verde.

6.5 Técnicas

A continuación, se mencionan de manera general los procedimientos que se emplearon en el desarrollo de la investigación, más adelante se presentan más detalles de los mismos.

El primer procedimiento utilizado fue el análisis del patrón morfológico espacial, el cual es un método espacial que permite clasificar los elementos del paisaje con base en su disposición en el terreno (Soille & Vogt, 2022). Este análisis permite identificar fuentes ecológicas o zonas núcleo y estructuras conectoras del paisaje como corredores, ramas e islas. Este procedimiento sirvió para la generación de las aglomeraciones de cobertura forestal que conformaron las redes ecológicas potenciales en la ZAM.



Informe final de Proyecto de Investigación

El segundo procedimiento consistió en el modelado de distribución potencial de especies, el cual permite correlacionar variables climáticas con registros conocidos de presencia de especies para predecir una probabilidad de ocurrencia en un determinado territorio. Este procedimiento sirvió para generar insumos para la estimación de la importancia como hábitat de especies amenazadas de las fuentes ecológicas en un marco de cambio climático.

El tercer procedimiento fue un análisis de conectividad del paisaje basado en teoría de gráficos. Este análisis permitió representar la conectividad de sistemas ecológicos, estimando la contribución de las fuentes ecológicas, así como de los distintos elementos conectores, con base a un gráfico compuesto por nodos y enlaces (Fall et al., 2007). Con este método se estimó el aporte a la conectividad del paisaje de los elementos que conforman las redes ecológicas potenciales.

Por último, otro procedimiento más que fue utilizado es un análisis de conectividad del paisaje basado en teoría de circuitos con el cual se estima la densidad de corriente en un paisaje con valores de resistencia al movimiento de especies (McRae et al., 2008). Este método permitió identificar los elementos de las redes ecológicas potenciales con mayor valor para la conectividad.

6.6 Resumen de las variables o unidades de análisis

Tabla 1

Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación

Objetivo específico	Variable	Instrumentos	Unidad de medida o cualificación
Delimitar la ubicación de redes ecológicas potenciales	Patrón morfológico espacial.	Programa Guídos Tool Box.	Variable cualitativa nominal, con los valores: Núcleo, borde, lazo,



Informe final de Proyecto de Investigación

Objetivo específico	Variable	Instrumentos	Unidad de medida o cualificación
asociadas a especies amenazadas de vertebrados terrestres dentro de la ZAM con base en análisis de conectividad el paisaje.			perforación, isla, puente y brazo.
Identificar a las principales fuentes ecológicas en la ZAM como sitios prioritarios para la conservación de especies amenazadas de vertebrados terrestres utilizando modelos de distribución potencial con escenarios históricos y futuros.	Probabilidad de ocurrencia de especies: histórica (1970-2000) y futuro (2041-2060).	Programas Wallace y MaxEnt.	Variables cuantitativas discretas continuas. Valores decimales en escala logarítmica de 0 a 1.
	Índice integral de conectividad (IIC) y diferencial del	Programa Conefor Sensinode.	Variable cuantitativa discreta continua. Escala de valores decimales de 0 a 1.



Informe final de Proyecto de Investigación

Objetivo específico	Variable	Instrumentos	Unidad de medida o cualificación
	índice integral de conectividad (dIIC).		
	Importancia como hábitat	Operación espacial de suma ponderada (Sistemas de información geográfica).	Variable cuantitativa discreta continua con valores decimales de 0 a 1.
Identificar áreas de importancia para la conectividad del paisaje en la ZAM como sitios prioritarios para la implementación de acciones de restauración ecológica y sistemas agroforestales.	Frecuencia de observación para especies de aves por tipo de uso del suelo	Observación directa y detección auditiva.	Número de registros por especie por uso del suelo.
	Conectividad funcional potencial del paisaje (teoría de circuitos).	Programa Linkage mapper.	Variables cuantitativas discretas continuas, con los siguientes valores: 0-1 para nodos adyacentes 0-infinito para la centralidad ráster



Informe final de Proyecto de Investigación

6.7 Procesamiento y análisis de la información

6.7.1 Delimitación de redes ecológicas potenciales

Clasificación del patrón morfológico espacial de la cobertura natural

Se utilizó como base el mapa de uso del suelo y cobertura 2024 de la ESRI con una resolución de aproximadamente 10 m (Karra et al., 2021). Para el análisis se utilizó la herramienta Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) (Soille y Vogt, 2009; Soille & Vogt, 2022) del programa Guidos Toolbox (versión 3.3, revisión 0, 64 bits) (Vogt, 2023). Se generó un mapa binario de la cobertura forestal (con cobertura/ sin cobertura), el cual se cargó al programa y se utilizó la herramienta MSPA con los siguientes parámetros: FG con 8/4 activado, EdgeWidth 10 píxeles, Transition activado e Intext activado. Se seleccionó este análisis dado que se ha utilizado como base para la identificación y delimitación de fuentes ecológicas en la delimitación espacial de redes ecológicas (Albert et al., 2017; Huang, Wang, Fang et al., 2021; Huang, Wang, Shan et al., 2021; Wang et al., 2022; Xiao et al., 2020; Zhai & Huang, 2022; Zhou & Song, 2021; Zhou et al., 2021)

En complemento al análisis anterior, al resultado del MSPA se ejecutó la función NW components para la identificación de componentes de red de la herramienta Network (MSPA) de los análisis de imágenes del programa Guidos. El resultado de este procedimiento sirvió para el análisis posterior de conectividad funcional potencial.

Ubicación de redes ecológicas potenciales en la ZAM

La base para delimitar las redes ecológicas fueron los componentes de red del MSPA, de este modo, cada red cuenta un identificador único. Las fuentes ecológicas son las áreas núcleo con mayor importancia como hábitat. Las zonas de amortiguamiento son áreas núcleo y bordes con menor importancia como hábitat, y los corredores son los puentes, ramas, lazos e islas.



Informe final de Proyecto de Investigación

6.7.2 Identificación de principales fuentes ecológicas

Procesamiento y depuración de registros de ocurrencia de especies

El procesamiento de datos se realizó en RStudio (versión 2025.09.0 Build 387) utilizando paquetes para el manejo, edición y geocodificación (dplyr, tidyr, readr, sf, mapview, tidygeocoder, geosphere, countrycode y CoordinateCleaner). Se integraron registros de 72 especies de vertebrados (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) provenientes de tres fuentes principales: 1) GBIF, 2) Registros de cámaras trampa del programa de monitoreo del CDC en la RBM 2013-2021 y 3) Base de datos el CDC que incluye: compilaciones bibliográficas, registros de investigaciones de CECON e investigaciones publicadas para Guatemala, que incluyen registros diseminados en diversas fuentes académicas. El procesamiento se dividió en dos etapas: georreferenciación y validación espacial de registros e integración y depuración final de las bases individuales.

Georreferenciación de registros

Para las bases provenientes de GBIF y CDC se verificó la integridad de la información espacial disponible, clasificando los registros en: a) registros con coordenadas e incertidumbre, b) con coordenadas sin incertidumbre y descripción de localidad, y c) sin coordenadas e incertidumbre, pero con descripción de localidad.

Los registros con coordenadas e incertidumbre fueron filtrados sin modificación para unión al final del proceso. En el caso de los registros con coordenadas sin incertidumbre con descripción de localidad y registros únicamente con descripción de localidad, fueron trabajados de manera independiente siguiendo el mismo proceso inicial. Primero se estandarizaron las descripciones mediante la construcción de cadenas de localización que integraban país, departamento y descripción de la localidad, corrigiendo errores de codificación u ortografía observados en los atributos originales. Posteriormente, estas cadenas se geocodificaron mediante el paquete tidygeocoder, el cual envía la cadena de texto



Informe final de Proyecto de Investigación

a un servicio de geocodificación (en este caso, ArcGIS) y devuelve coordenadas estimadas acompañadas, puntaje de coincidencia (score), coordenadas mínimas y máximas del rectángulo envolvente con valores en eje X y Y, entre otros atributos no utilizados.

Una vez geocodificados, se estimó la incertidumbre espacial de los registros, utilizando las coordenadas mínimas y máximas del rectángulo envolvente con el paquete geosphere, que calcula distancias geodésicas sobre la superficie terrestre tomando en cuenta su curvatura. A partir de este proceso se obtuvo la distancia entre los extremos del rectángulo en dirección norte-sur y este-oeste, promediando ambas como medida de incertidumbre en metros. Finalmente se establecieron mínimos de calidad espacial basados en la distribución de los valores, con lo cual solo se conservaron registros con puntaje de geocodificación (Score) ≥ 75 e incertidumbre $\leq 2,300$ m, y el resto fue descartado. Para los registros con coordenadas, pero sin incertidumbre, se calculó además la distancia entre la coordenada original y la generada a partir del proceso de geocodificación y se conservaron aquellos registros cuya distancia no superaba los 1,150 m.

A los registros conservados de este último proceso, finalmente se les asignó el valor de incertidumbre calculado. Finalmente, los registros geocodificados y con incertidumbre calculada, fueron fusionados con los registros con coordenadas e incertidumbre filtrados al inicio.

En el caso de los registros obtenidos de las cámaras trampa, las coordenadas se tomaron en campo durante la fase de muestreo y se asignaron mediante la estandarización y homologación de códigos y nombres de estaciones, empleando una tabla de referencia del programa de monitoreo del CDC.

Integración y depuración de bases de datos

Para un manejo final, las bases depuradas se convirtieron en objetos espaciales (paquete sf) bajo el sistema WGS84 (EPSG:4326). Posteriormente, se aplicó el paquete CoordinateCleaner para identificar y excluir registros con coordenadas sospechosas o



Informe final de Proyecto de Investigación

implausibles, tales como puntos ubicados en áreas urbanas, localidades de sedes institucionales como museos, en cuerpos de agua, centroides administrativos y coordenadas duplicadas. Una vez filtradas, las bases se estandarizaron en cuanto a estructura y nomenclatura: identificadores únicos, nombre científico validado, coordenadas homogéneas, incertidumbre geográfica, localidad y metadatos relevantes, incluyendo una columna de fuente que distingue GBIF, cámaras trampa o base del CDC. Esta base integrada resultante constituyó el insumo fundamental para los análisis subsiguientes de modelación de distribuciones potenciales (Apéndice A)

Modelado de la distribución potencial de especies amenazadas

Para el modelado de distribución potencial de especies se utilizaron los programas Wallace (Kass et al., 2023) y MaxEnt versión 3.4.4 (Phillips et al., 2006). Una vez se contó con los registros de ocurrencia de las especies depurados e integrados en una sola base de datos, se extrajeron los registros de 21 especies a partir de los cuales se ejecutó el programa Wallace como fase de calibración. Los modelos de esta fase fueron evaluados utilizando el criterio de información de Aikaike (AIC) y la tasa de omisión. Aquellos modelos con valores promedio de la tasa de omisión del mínimo de presencias de entrenamiento (avg.MTP) < 0.05 y con el menor valor de AIC fueron considerados para el modelado posterior. Con base en los resultados de la fase de calibración se modeló la distribución potencial de las especies con el programa MaxEnt versión 3.4.4 (Phillips et al., 2006). Se realizaron 25 réplicas para cada modelo utilizando como método de remuestreo Bootstrap. El 30% de los registros se utilizó para la validación del modelo y el 70% restante para la generación del mismo. Se seleccionó este programa para el modelado de las especies dado que el algoritmo de máxima entropía empleado por MaxEnt es uno de los que han demostrado obtener mejores resultados (Merow et al., 2013).

Los modelos que se obtuvieron fueron evaluados a partir del criterio del área bajo la curva (AUC por sus siglas en inglés), seleccionando el modelo que correspondió a la mediana. Los mapas de los modelos seleccionados fueron exportados a formato raster y se realizó el corte



Informe final de Proyecto de Investigación

para no hábitat (o sin probabilidad de ocurrencia) con base en el valor del 10 percentil estimado en el modelado de calibración.

Las especies, fueron proyectadas para el escenario bioclimático futuro a mediano plazo (2041-2060) empleando los parámetros de los modelos de calibración.

Análisis de conectividad funcional potencial basado en la teoría de gráficos

Para el análisis de conectividad basado en gráficos se utilizó el programa Conefor Sensinode (versión 2.2) (Saura & Torné, 2009). Con los componentes de red identificados a partir del análisis MSPA se estimó el diferencial del índice integral de conectividad (dIIC) con el programa Conefor Sensinode (versión 2.2) (Saura & Torné, 2009). Se han empleado análisis de redes basados en teoría de gráficos para la delimitación de redes ecológicas, por lo cual se seleccionó este método. Se estimó el dIIC para grupos de especies de acuerdo con su capacidad para desplazarse en paisajes fragmentados con distancias de uno, cinco y diez kilómetros. A partir de este análisis se identificaron los componentes dentro de cada red con mayor aporte a la conectividad.

Identificación de principales fuentes ecológicas

A partir del resultado del MSPA, se extrajeron las áreas clasificadas como núcleo. Empleando herramientas espaciales se estimó la suma ponderada de los mapas de distribución potencial de las especies modeladas, tanto para las condiciones bioclimáticas históricas (1970 – 2000) como futuras a mediano plazo (2041 – 2060), junto con el valor de dIIC para cada remanente forestal. Para cada componente se calcularon los valores relativos dividiéndolos por el valor mayor y en la suma ponderada el valor del dIIC se multiplicó por 0.6, mientras que los valores de los mapas de distribución potencial por 0.2 cada uno. Los mapas resultantes fueron traslapados con el mapa de áreas núcleo de modo que se identificaron las áreas núcleo con mayor probabilidad de ocurrencia promedio de las especies en condiciones actuales, como futuras y mayor contribución a la conectividad del paisaje.



Informe final de Proyecto de Investigación

6.7.3 Identificación de áreas de importancia para la conectividad del paisaje

Se utilizaron los resultados del MSPA y del análisis de conectividad funcional potencial basado en la teoría de Gráficos en complemento al análisis basado en la teoría de circuitos que se describe a continuación.

Análisis basado en la teoría de circuitos

Estimación del flujo de corriente. Para este análisis se utilizó como base el mapa de uso del suelo y cobertura 2024 de la ESRI (Karra et al., 2021), el mapa de áreas protegidas globales (UNEP-WCMC & IUCN, 2025), mapa de caminos y carreteras y mapa de pendiente del terreno. A partir de estos mapas se generó un mapa de resistencia del paisaje para una especie sensible y con movilidad limitada con base en el criterio del equipo de investigación (Apéndice B).

Posteriormente se utilizaron las herramientas Linkage Pathways (McRae & Kavanagh, 2011, versión 2.0) y Pinchpoint Mapper (McRae, 2012, versión 2.0) del paquete de herramientas para análisis regionales de conectividad Linkage Mapper (McRae & Kavanagh, 2011). Se seleccionarán las opciones para calcular las áreas con alta densidad de corriente o Pinch points entre nodos adyacentes y la centralidad ráster (centrality raster) con Circuitscape en el modo Todos-a-uno (All-to-one). Las áreas de importancia para la conectividad del paisaje fueron aquellas con mayores valores de densidad de corriente. Estas áreas incluyen remanentes con cobertura boscosa, así como con otros usos del suelo que favorezcan la conectividad ecológica.

7. Aspectos éticos y legales

Dado que el proyecto estuvo relacionado con biodiversidad se gestionó la respectiva licencia de investigación ante el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) (Apéndice C).

Informe final de Proyecto de Investigación

8. Resultados y discusión

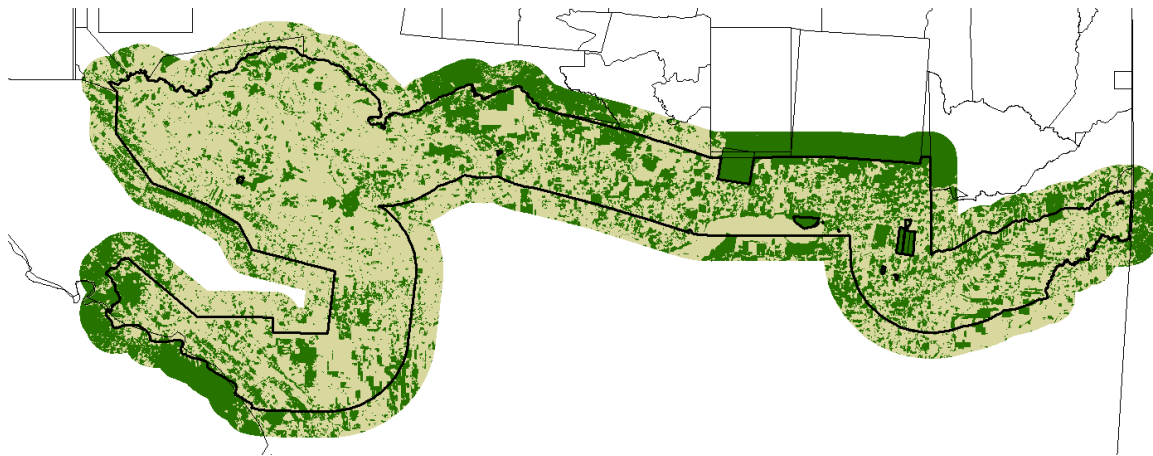
8.1 Delimitación de la ubicación de redes ecológicas potenciales asociadas a especies amenazadas de vertebrados terrestres dentro de la ZAM

8.1.1 Patrón morfológico especial

La cobertura forestal en el área de estudio se estimó que esta abarca el 37% del área de estudio (Figura 5). Se presenta mayor cantidad de remanentes con cobertura forestal en el sector este y suroeste de la ZAM, mientras que en el sector noreste se presenta mayor extensión sin cobertura. Los remanentes de mayor extensión con cobertura en el área de estudio corresponden a zonas núcleo de la RBM y el área de protección de flora y fauna Chan-Kin en México.

Figura 5

Cobertura forestal en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para 2024



Nota. La cobertura forestal se muestra de color verde. Fuente ESRI (Karra et al., 2024).

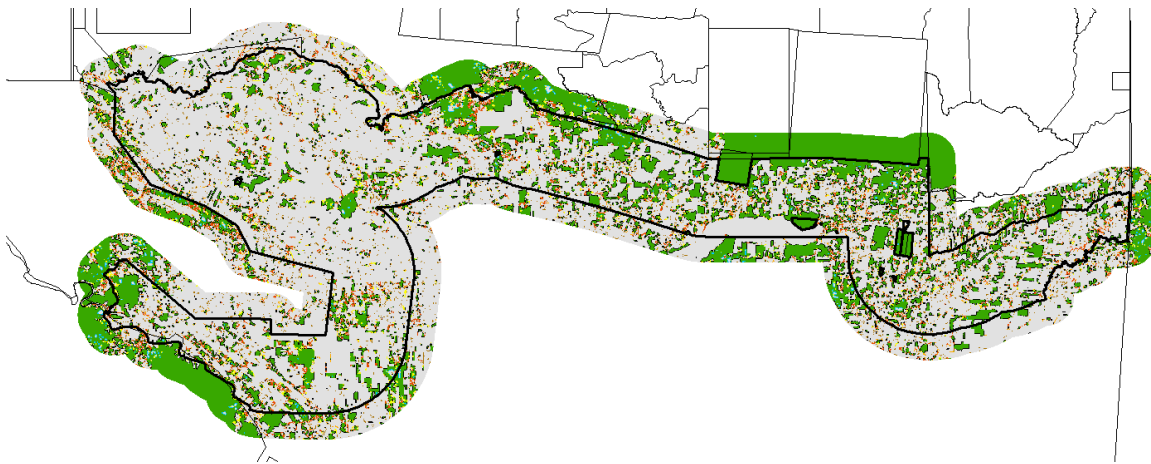
Con respecto al patrón morfológico espacial de la cobertura forestal se estimó un 7% de cobertura para los núcleos, 29% para bordes, 5% islas, 10% puentes, 6% ramas, 6% lazos, 15% perforaciones y 22% fondo (Figura 6). El elevado porcentaje que representa el tipo borde (la clase con mayor porcentaje de extensión en el área de estudio), denota el alto grado de fragmentación de la cobertura forestal; sin embargo, hay que considerar que se

Informe final de Proyecto de Investigación

establecieron 100 m de borde, lo cual aumenta el área de esta clase significativamente. Así mismo, el porcentaje de perforaciones (tercero para todas las clases) representa la deforestación dentro de zonas núcleo, especialmente en el parque nacional Laguna del Tigre (PNLT).

Figura 6

Patrón morfológico espacial de la cobertura forestal 2024 en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya



Nota. Código de color: núcleos = verde, bordes = negro, puentes = rojo, islas = café, brazos = naranja, lazos = amarillo, perforaciones = celeste y fondo (sin cobertura) = gris.

En el estudio de García & Leonardo (2016) se realizó un análisis MSPA para el hábitat potencial de *Tapirus bairdii* (danto o tapir) en el país, en el cual se incluye la ZAM. Sin embargo, debido a la resolución utilizada (aproximadamente un kilómetro), los remanentes dentro de la ZAM no fueron identificados como áreas núcleo. Por lo cual, se considera que el análisis realizado en el presente estudio con una resolución aproximada de 10 m, brinda un mejor detalle del patrón morfológico de la cobertura forestal. A partir de lo anterior, se resalta la importancia de poder contar con mapas de uso del suelo y cobertura actualizados y con una alta resolución para el área de estudio, con el fin de tener una mejor aproximación del estado real en campo de la cobertura forestal y su dinámica.



Informe final de Proyecto de Investigación

A partir del análisis MSPA se identificaron 1,791 componentes de red, los cuales cada uno equivale a una red ecológica (Figura 7). Las áreas de puentes en todas estas redes, son áreas de importancia para la conectividad, por lo cual, son áreas prioritarias para su restauración ecológica con el fin de fortalecer estos puentes como corredores y mantener la conectividad entre zonas núcleo.

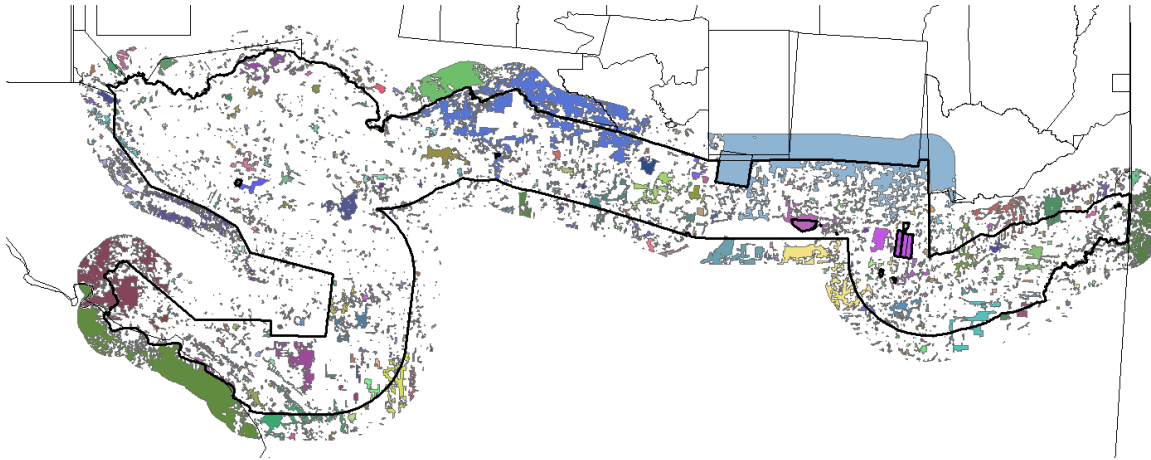
La red con mayor área, con aproximadamente 378 km², corresponde a remanentes que forman parte del denominado bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá y áreas asociadas dentro de la ZAM desde la Reserva Indígena BioItzá hacia el lago Petén Itzá y desde el parque Nacional Tikal (Panat) hacia el sur. La siguiente red en cuanto a área, con 220 km² contiene remanentes dentro del PNLT, así como remanentes del área de manejo Cruce Dos Aguadas y otros hacia el sur dentro de la ZAM. La red que sigue en área, con 160 km², se encuentra afuera de la ZAM, en el remanente asociado al área de protección de flora y fauna Chan-Kin en México, sin embargo, se considera que son remanentes de importancia por su conectividad hacia el parque nacional Sierra del Lacandón (PNSL) en Guatemala. Les siguen redes asociadas a las redes del PNLT y del PNSL mencionadas previamente.

Continuando en orden de extensión de mayor a menor, sigue una red formada por remanentes localizados en Belice (50 km²). Al igual que los remanentes ubicados en México, a pesar de que se encuentran afuera de la ZAM e incluso del país, son de importancia para la conectividad dentro de la ZAM. Lo anterior, resalta la importancia de integrar redes de conectividad en un contexto regional de la Selva Maya. Recientemente los gobiernos de México, Guatemala y Belice declararon esta región como un corredor biocultural trinacional Gran Selva Maya (Gran Selva Maya, 2025), con lo que se hace aún más necesaria la evaluación de la conectividad a escala regional. e siguen en extensión tres redes conformadas por remanentes ubicados fuera de la ZAM o en su límite con la ZUM y áreas fuera de la RBM (entre 33 y 48 km²), lo que resalta la importancia del establecimiento de redes de conectividad a nivel nacional también.

Informe final de Proyecto de Investigación

Figura 7

Elementos de red a partir de la cobertura forestal 2024 en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya



Nota. Cada color distinto representa un componente de red único.

En cuanto a área, siguen redes dentro de la ZAM asociadas a la reserva natural privada El Manantial (30 km²), al BPCC (25 km²) y otra ubicada entre los municipios de Las Cruces y La Libertad (25 km²). A estas redes le siguen 15 redes más, conformadas en algunos casos por remanentes ubicados en los límites de la ZAM, con extensiones que van de los once a los 24 km². Les siguen 113 redes con extensiones entre uno y nueve kilómetros cuadrados y 1,651 redes con extensión menor a 1 km². El 92% de las redes presentan una extensión menor a 1 km², lo cual refleja el grado de fragmentación de la cobertura forestal dentro de la ZAM, resaltando la necesidad de implementar acciones de restauración ecológica, incluyendo los SAF y los SSP.

Los componentes de red delimitados para la ZAM corresponden parcialmente con las redes de conectividad identificadas por la Fundación ProPetén (2025) para el bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá, ya que las redes no coinciden totalmente entre ambos estudios. Esta diferencia puede deberse en parte al mapa de cobertura y uso del suelo utilizados, así como a la escala. De modo que las redes identificadas por la Fundación ProPetén (2025) estarían



Informe final de Proyecto de Investigación

compuestas por más de un componente de red delimitado en el presente estudio. Sin embargo, la experiencia sistematizada en el documento de la Fundación ProPetén (2025) tiene un alto valor para la planificación territorial, ya que, ha sido un proceso participativo en conjunto con propietarios y productores de la ZAM y de varios años dando inicio en el 2006. En este sentido, no son totalmente contradictorios los resultados sino más bien complementarios, ya que ambos estudios contribuyen en la identificación de sitios prioritarios para la implementación de estrategias para la restauración ecológica.

8.2 Identificación de las principales fuentes ecológicas en la ZAM como sitios prioritarios para la conservación de especies amenazadas de vertebrados terrestres

8.2.1 Modelado de distribución potencial de especies seleccionadas

Se realizaron modelos de distribución para 21 especies seleccionadas: cinco anfibios, cinco reptiles, cuatro aves y siete mamíferos para las condiciones bioclimáticas históricas (1970-2000) como futuras (2041-2060), tanto binarios (presencia/ausencia) como con la probabilidad de ocurrencia (Apéndice D y Apéndice E). De las especies modeladas, *Triprion petasatus*, *Agkistrodon russeolus* y *Peromyscus yucatanicus* presentaron distribuciones potenciales en condiciones históricas (1970-2000) fuera de la ZAM. En el caso de *T. petasatus* y *A. russeolus* sus distribuciones reportadas incluyen al menos una parte de la ZAM (Chaves et al., 2021; International Union for the Conservation of Nature Amphibian Specialist Group, 2020), sin embargo, no hay suficientes registros georreferenciados disponibles para esta área. Para *P. yucatanicus* su distribución reportada se encuentra fuera de la ZAM (de Grammont, P. C. & Cuarón, 2016). En general es necesario contar con una mayor cantidad de registros para todas las especies con el fin de mejorar los modelos de distribución potencial.

Con respecto a la distribución potencial para el futuro (2041-2060) se presenta una tendencia general en la que anfibios y aves disminuyen sus áreas de distribución con respecto a las condiciones históricas, mientras que los reptiles y mamíferos aumentan, con excepción de *Odocoileus pandora* (cabro bayo) y *Tapirus bairdii* (tapir o danto). Para *O. pandora* se estima que su distribución en el futuro quedará fuera de la ZAM, más al norte en la península de



Informe final de Proyecto de Investigación

Yucatán y para *T. bairdii* disminuirá considerablemente en el sector oeste de la ZAM. Por el contrario, *A. russeolus* estaría ampliando su distribución desde la península de Yucatán hacia la ZAM.

En la suma de los mapas binarios de ocurrencia para las especies modeladas tanto para las condiciones bioclimáticas históricas como para el promedio de los modelos a futuro, en ambos mapas de los escenarios a futuro (

spp 126 y spp 585) se evidencia la tendencia a la disminución en las áreas de distribución potencial de las especies modeladas dentro de la RBM (

Figura 8). En el escenario spp 126 se perdería la distribución dentro de la ZAM de una especie en el futuro, mientras que en el escenario 585 serían cinco especies. El sector este de la ZAM es el que presentaría los valores más altos en riqueza de especies en el futuro.

Estos resultados coinciden con los encontrados por García et al. (2023) con modelos de distribución potencial para especies en escenarios histórico y futuro (2081-2100), donde se proyecta una disminución en la probabilidad de ocurrencia de varias especies, principalmente en el sector este en el parque nacional Laguna del Tigre y biotopo protegido Laguna del Tigre Río Escondido, manteniéndose las áreas con mayor probabilidad hacia el sector oeste. A diferencia del estudio de García et al. (2023), que solamente utilizaron un modelo de proyección a futuro con una temporalidad de más de 50 años (2081-2100), en el presente estudio se modeló tres con escenarios a futuro y una temporalidad media (2041-2060), por lo que se confirma la tendencia encontrada en ambos estudios. García et al. (2023) identificaron a Petén como el departamento con mayor vulnerabilidad ante el cambio climático.

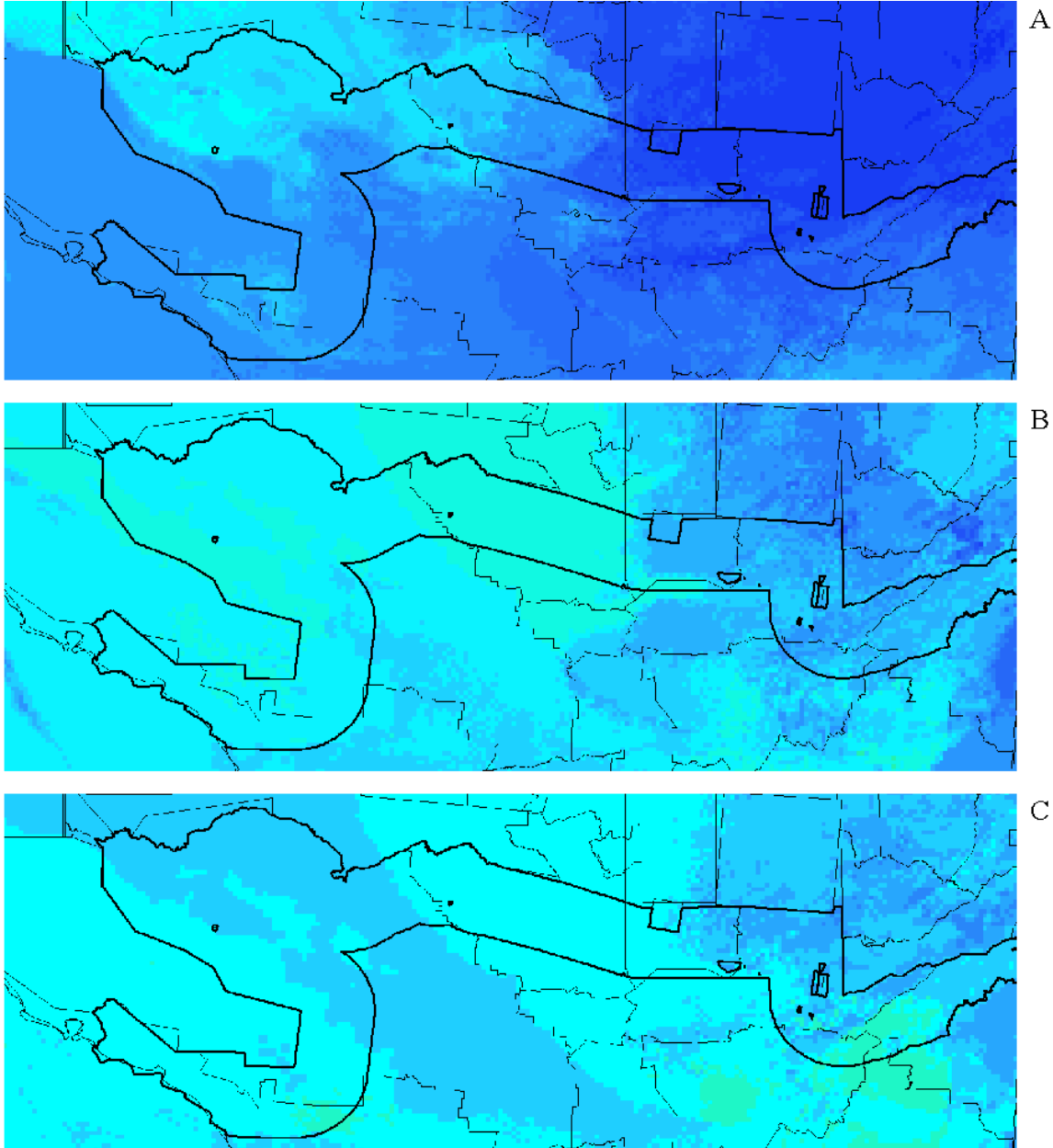


Informe final de Proyecto de Investigación

Figura 8

Suma de mapas binarios de distribución de 21 especies de vertebrados con presencia dentro de la reserva de la biosfera Maya

Informe final de Proyecto de Investigación



Nota. A) Condiciones históricas (1970-2000), B) Condiciones futuras (2041-2060) escenario spp 126 y C) Condiciones futuras (2041-2060) escenario spp 585. Los valores se muestran de los más bajos (celeste) a los más altos (azul oscuro).

En el caso específico de *Tapirus bairdii* (danto o tapir) los modelados a futuro desarrollados por García & Leonardo (2019), Aguilera Rodas (2020) y García et al. (2023) coinciden con

Informe final de Proyecto de Investigación

el modelo desarrollado para la especie en el presente estudio, ya que todos predicen que se reducirá la distribución potencial de esta especie en la RBM. Consideran que esta especie puede considerarse como una especie sombrilla, se puede deducir que otras especies serán también afectadas negativamente como consecuencia del aumento de temperatura y disminución de la precipitación. Aguilera Rodas (2020) a través de un análisis de viabilidad poblacional para *T. bairdii* en la RBM, estimó que la especie podría llegar a extinguirse en los siguientes 40 años en el escenario negativo o reducir su población a más del 50% en el escenario positivo. De modo que, los resultados obtenidos en los distintos estudios sugieren una alta vulnerabilidad para determinadas especies en los escenarios de cambio climático.

8.2.2 Conectividad funcional potencial: teoría de gráficos

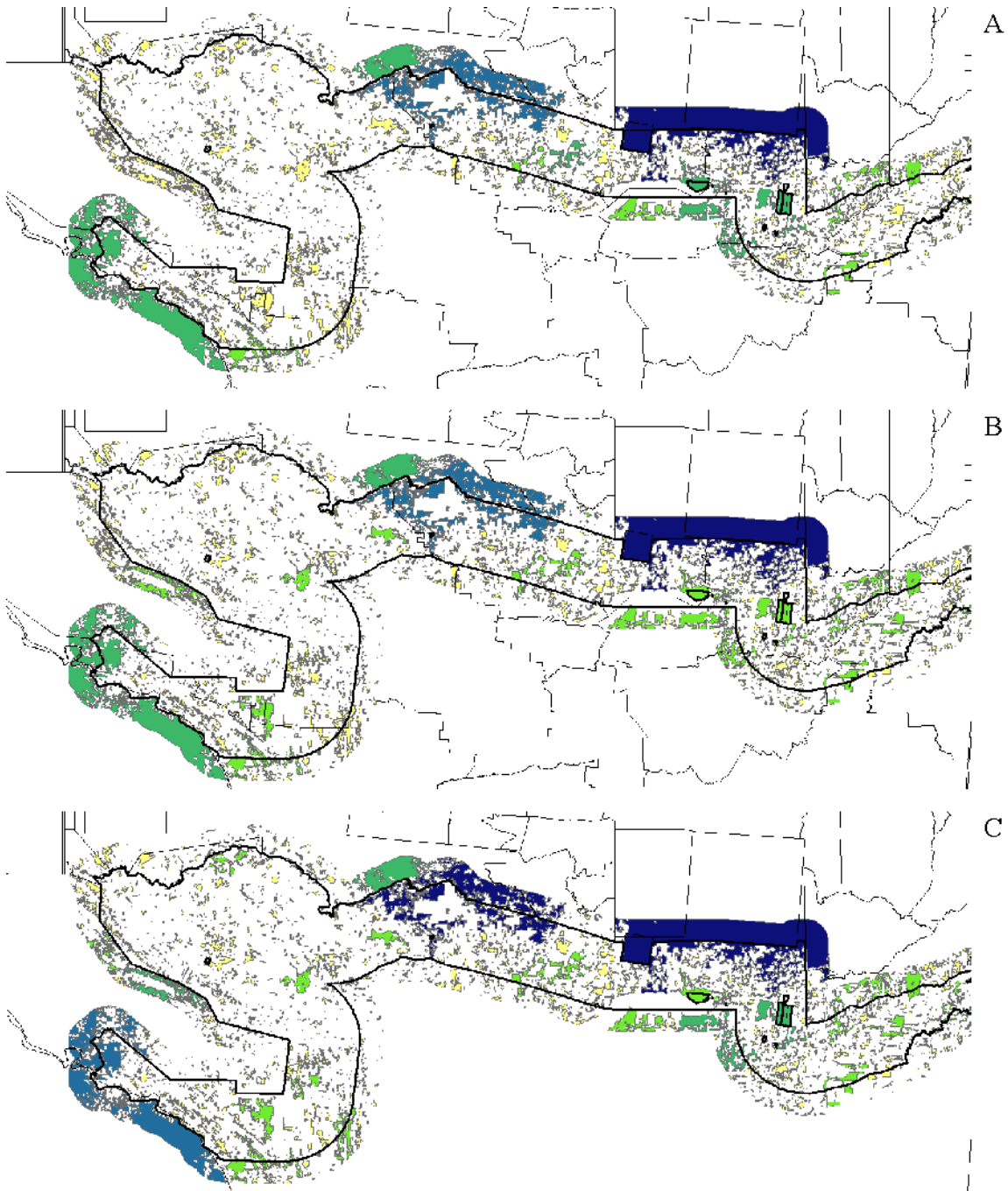
Se estimó la contribución de cada red ecológica dentro de la ZAM para especies con movilidad máxima fuera de su hábitat de uno, cinco y diez kilómetros (

Figura 9). Para especies con movilidad de un kilómetro, la red de mayor importancia es la asociada al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá, seguido de los remanentes asociados al PNLT y el área de protección de flora y fauna Chan-Kin en México (Figura F1 Apéndice F). Con respecto a la contribución como elementos conectores, las principales redes corresponden nuevamente a las redes asociadas al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá, al PNLT y el área de protección de flora y fauna Chan-Kin. Estas redes, dada su extensión y ubicación, pueden favorecer la conectividad entre otras redes en la ZAM y hacia afuera. Se suma también a estas redes, una red ubicada entre las dos primeras redes, por lo que es de gran importancia, ya que permitiría la conectividad entre éstas. También resalta la contribución de la red asociada al BPCC y la red fuera de la ZAM al sur del lago Petén Itzá.

Informe final de Proyecto de Investigación

Figura 9

Diferencial del índice integral de conectividad para redes ecológicas dentro de la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para 2024





Informe final de Proyecto de Investigación

Nota. A) Para especie con movilidad afuera de su hábitat de un kilómetro, B) Para especie con movilidad afuera de su hábitat de cinco kilómetros y C) Para especie con movilidad afuera de su hábitat de diez kilómetros. Los valores se muestran de los más bajos (color amarillo) a los más altos (color azul oscuro).

Para especies con movilidad de cinco kilómetros fuera de su hábitat, son las mismas tres redes las que presentan los mayores valores de contribución para la conectividad en toda la ZAM (Figura F2 Apéndice F). A diferencia de especies con movilidad de un kilómetro, redes presentes en los municipios de Las Cruces y La Libertad, así como al sur del parque nacional Yaxhá Nakum Naranjo (PNYYN) presentan una mayor contribución para la conectividad. Así mismo, con respecto a la contribución para el flujo, presentan mayores valores la red asociada al área de protección de flora y fauna Chan-Kin y en el PNLT. Para la contribución como conector, presentan una menor importancia redes como la asociada al BPCC, y presentan mayor contribución redes presentes en el municipio de La Libertad.

Mientras que, para especies con movilidad de diez kilómetros, nuevamente la red asociada al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá presenta el mayor valor y las redes asociadas al PNLT y el área de protección de flora y fauna Chan-Kin en México aumentan su contribución a la conectividad en la ZAM (Figura F3 Apéndice F). Para la contribución al flujo, un mayor número de redes contribuyen a la conectividad en la ZAM. Con respecto a la contribución como conector, disminuyen los valores de redes ubicadas al sur del bloque y la red asociada al área de protección de flora y fauna Chan-Kin en México.

En el estudio de García et al. (2015) realizaron un análisis similar basado en la teoría de gráficos para una sección de la ZAM ubicada entre el BPCC y el biotopo protegido San Miguel La Palotada El Zotz. En dicho estudio, el remanente con mayor contribución corresponde a áreas asociadas al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio. También los remanentes asociados al BPCC y áreas de la aldea Jobompiche se resaltan como áreas de importancia en ambos estudios. Sin embargo, es evidente la pérdida de cobertura entre ambos estudios en un lapso de diez años.



Informe final de Proyecto de Investigación

También, en los análisis de conectividad para *T. bairdii* (danto o tapir) desarrollados por García et al. (2011) y García & Leonardo (2016) a una escala del hábitat disponible para la especie en el país, el remanente de mayor importancia corresponde a las zonas núcleo y ZUM de la RBM. Lo cual coincide con los resultados del presente estudio para la ZAM, donde el remanente asociado al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá es el de mayor importancia. Este remanente también es considerado de gran importancia para la conectividad de la población de *Panthera onca* (jaguar) ya que favorece la conectividad entre áreas de México, Guatemala y Belice (Gaitán et al., 2022). En este sentido, es indispensable evitar la pérdida de cobertura dentro de zonas núcleo, pero a la vez, mantener la conectividad hacia la ZAM a través de los remanentes de bosque de menor tamaño.

8.2.3 Importancia como fuente ecológica

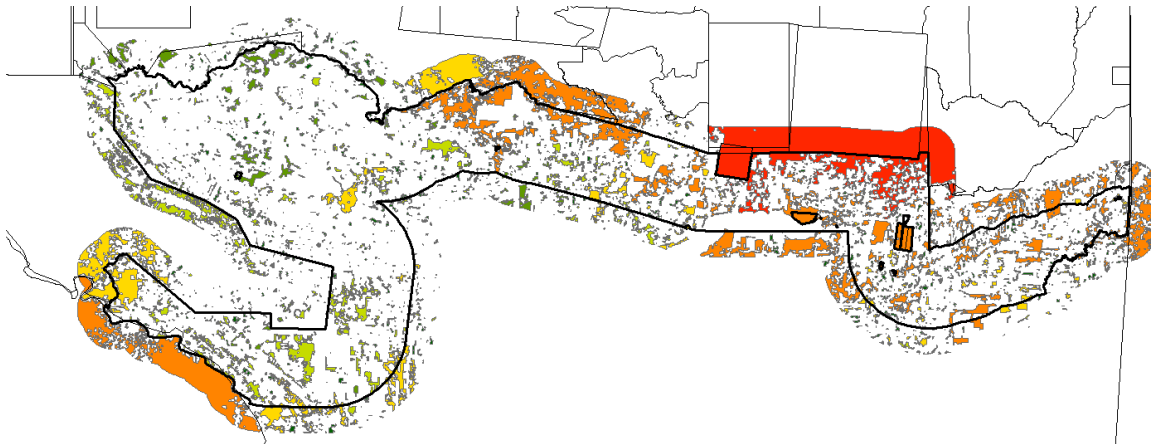
Al combinar los valores de importancia para la conectividad (dIIC) para especies con movilidad de un kilómetro, sumatoria de mapas binarios de distribución de especies en condiciones actuales (1970-2000) y promedio de las sumatorias de mapas binarios de distribución de especies en condiciones futuras (2041-2060) en los escenarios spp 126 y spp 585, la red con mayor importancia es la asociada al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá. Le siguen en importancia las redes asociadas al PNLT, PNSL, BPCC, reserva natural privada El Manantial y otras en el sector centro y este de la ZAM (Figura 10).

Nuevamente se resalta la importancia del remanente asociado al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá para conectividad en la ZAM que ya ha sido identificado por estudios previos de conectividad (García et al., 2011; García et al., 2015; García & Leonardo, 2016; García & Leonardo, 2019). Sin embargo, es importante resaltar el valor de los remanentes asociados a este bloque dentro de la ZAM, especialmente en el BPCC, la reserva privada El Manantial, entre otros. Estos remanentes dentro de la ZAM, pueden funcionar como hábitats fuente de material biológico para la regeneración natural de áreas degradadas o en proceso de restauración ecológica a través de la transformación de actividades productivas a través de SAF y otros sistemas que promuevan el incremento de cobertura forestal.

Informe final de Proyecto de Investigación

Figura 10

Importancia como hábitat fuente de redes ecológicas dentro de la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para 2024



Nota. Los valores se presentan del menor de color amarillo al mayor de color rojo.

8.3 Identificación de áreas de importancia para la conectividad del paisaje en la ZAM como sitios prioritarios para la implementación de acciones de restauración ecológica y sistemas agroforestales

8.3.1 Muestreos para el registro de aves en la ZAM

A partir de los muestreos de aves en parcelas de la ZAM se obtuvieron 317 registros correspondientes a 138 especies (Tablas G1 y G2 Apéndice G). De las especies registradas, *Cathartes aura* (aura, viuda o buitres), *Crypturellus soui* (mancolola o tinamú chico), *Oncostoma cinereigulare* (Mosquerito piquicurvo norteño), *Pteroglossus torquatus* (arasasí acollarado) y *Vireo flavoviridis* (vireo de cabeza gris), solamente fueron registradas en bosque. Lo anterior podría indicar que estas especies son sensibles al tipo de cobertura y uso del suelo, con excepción de *C. aura*, que al ser una especie carroñera puede estar asociada con áreas perturbadas, sin embargo, podría utilizar los remanentes boscosos como áreas de percha. Las especies *Momotus lessonii* (momoto común) y *Xiphorhynchus flavigaster* (trepatroncos pico de marfil), fueron registradas 50% en bosque y 50% en SAF, lo que puede indicar que también prefieren áreas con cierto porcentaje de cobertura arbórea.



Informe final de Proyecto de Investigación

Por el contrario, las especies *Cyanocorax morio* (urraca, urraca café o pea), *Pheugopedius maculipectus* (ratona de pecho moteado), *Pitangus sulphuratus* (bienteveo común), *Trogon melanocephalus* (trogón cabecinegro), *Myiozetetes similis* (bienteveo sociable), *Trogon caligatus* (trogón violáceo), *Saltator grandis* (pepitero grisáceo norteño), *Ramphocaenus melanurus* (saltón picudo) y *Tityra semifasciata* (titira enmascarada) fueron registradas en todos o casi todos los tipos de uso, lo que indica que son especies generalistas que pueden adaptarse a distintos hábitats. Estas especies también pueden tener una contribución importante en los SAF a través del intercambio de material con otros tipos de uso, en especial las especies de trogones (género *Trogon*), ya que, consumen frutos de los cuales pueden estar transportando sus semillas hacia otros usos, facilitando la regeneración natural.

Con respecto al uso del suelo y la cobertura, la mayor cantidad de registros y especies corresponde al borde entre bosque y potreros, seguido de los SAF (Tabla 2). Once especies únicamente fueron registradas en bordes, por lo que también son especies asociadas a hábitats con cobertura arbórea, pero con cierta tolerancia a otros hábitats más abiertos como potreros y cultivos. Así mismo, once especies fueron registradas únicamente en SAF. Con excepción de las especies acuáticas, *Butorides virescens* (garcita verdosa) y *Chloroceryle amazona* (martín pescador mediano) asociadas a estanques artificiales cercanos a los SAF, estas especies pueden ser de importancia en áreas en proceso de restauración ecológica a través de sistemas productivos, en especial *Ortalis vetula* (chachalaca norteña), ya que es una potencial dispersora de semillas (Rivas Romero et al., 2004). La mayoría de especies registradas en SAF son insectívoras, lo que indica que pueden estar contribuyendo al control de plagas en estos sistemas.

8.3.2 Muestreo con trampas cámara

En los muestreos con trampas cámara se registraron 27 especies de vertebrados (Tabla 3 y Tabla G3 Apéndice G). El orden con mayor número de especies corresponde a Carnivora con ocho especies, seguido de Rodentia con cuatro y Didelphimorphia con tres. La especie *Urocyon cinereoargenteus* (zorra gris) fue registrada en cinco sitios y las especies *Leptotila verreauxi* (paloma montaraz común), *Dasyopus mexicanus* (armadillo o güeche), *Dasyprocta*

Informe final de Proyecto de Investigación

punctata (cotuza o sereque) y *Nasua narica* (pizote o coatí) en cuatro sitios, siendo éstas las especies más frecuentes en los sitios muestreados dentro de la ZAM.

Tabla 2

Número de registros y especies de aves en distintos usos del suelo en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en 2025

	Borde	Bosque	Cultivo	Guamil	Sistemas	
					Agroforestales	Total
Registros	146	37	27	2	105	317
Especies	48	24	21	2	43	138

En contraste, algunas especies fueron registradas solamente en un sitio, las cuales podrían corresponder a especies especialistas o que podrían considerarse más sensibles a la perturbación. Las especies de aves acuáticas *Tigrisoma mexicanum* (garza tigre) y *Aramides albiventris* (galletera) estarían asociadas a la presencia de cuerpos de agua. Mientras que especies como *Tinamus major* (mancolola mayor), *Crypturellus boucardi* (mancolola café), *Crax rubra* (faisán), *Cuniculus paca* (tepezcuintle), *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca) y *Dicotyles tajacu* (coche de monte) son consideradas sensibles a perturbaciones, además de ser sujetas a la cacería, por lo cual son indicadoras de calidad de hábitat.

Perera-Romero et al. (2025) encontraron respuesta de *C. rubra* a los accesos humanos en la ZUM, lo que coincide con los resultados obtenidos en el fototrampeo ya que solamente se registró a esta especie en el BPCC. Por el contrario, Perera-Romero et al. (2025) encontraron que, a nivel de especie, especies generalistas que no son susceptible a ser cazadas, su ocurrencia no es afectada por la distancia a caminos, como encontraron Nguimdo et al. (2025) para primates en zonas boscosas no protegidas en el golfo de Guinea. Lo cual podría aplicar para *U. cinereoargenteus* (zorra gris), ya que es una de las especies más frecuentes y por lo cual. Podría llamar la atención que entre las especies más frecuentes se encuentra *D. mexicanus* (armadillo) una especie cinegéticas.



Informe final de Proyecto de Investigación

La presencia de *Canis familiaris* (perro doméstico) en el BPCC es un factor de perturbación dentro del área protegida, ya sea derivado de actividades de cacería o actividad de perros que ingresan al biotopo desde comunidades vecinas.

El sitio de muestreo con más especies corresponde al BPCC con 22 especies, seguido de los sitios S3 y S4 con 10 y 9 especies respectivamente (Tabla 3). Si bien se tuvo un mayor esfuerzo de muestreo en el BPCC con 3 estaciones de muestreo en comparación con una estación en los otros sitios, el mayor número de especies registradas (más del doble de los sitios que le siguen) pueda deberse a que es un área protegida categoría II y uno de los remanentes de mayor extensión en la ZAM y por lo tanto un remanente de importancia para especies amenazadas. Esto concuerda con los resultados de los distintos análisis que se realizaron y la identificación de redes de importancia en la ZAM.

Tabla 3

Especies de vertebrados registradas con trampas cámara en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya

Familia	Especie	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Subtotal
Iguanidae	<i>Ctenosaura sp.</i>	1						1
Tinamidae	<i>Tinamus major</i>	1						1
	<i>Crypturellus boucardi</i>	1		1				2
Ardeidae	<i>Tigrisoma mexicanum</i>	1						1
Cracidae	<i>Ortalis vetula</i>		1	1	1			3
	<i>Crax rubra</i>	1						1
Columbidae	<i>Leptotila verreauxi</i>	1		1	1	1		4
Rallidae	<i>Aramides albiventris</i>	1						1
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	1				1	1	3
	<i>Philander opossum</i>	1						1
	<i>Marmosa sp.</i>			1				1
Dasypodidae	<i>Dasypus mexicanus</i>	1	1		1		1	4
Myrmecophagidae	<i>Tamandua mexicana</i>				1	1		2



Informe final de Proyecto de Investigación

Familia	Especie	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Subtotal
Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i>	1						1
Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>	1	1	1	1			4
Sciuridae	<i>Sciurus sp.</i>	1	1					2
? (Rodentia)	Ratón	1		1				2
Memphitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	1			1			2
	<i>Spilogale angustifrons</i>	1						1
Mustelidae	<i>Eira barbara</i>		1	1				2
Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	1	1	1			1	4
	<i>Procyon lotor</i>	1		1	1			3
Canidae	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	1	1		1	1	1	5
Canidae	<i>Canis familiaris</i>	1						1
Felidae	<i>Leopardus sp.</i>	1	1		1			3
Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	1						1
Tayassuidae	<i>Dicotyles tajacu</i>			1				1
Totales		22	8	10	9	4	4	

Nota. Sitios de muestreo: S1 = biótomo protegido Cerro Cahuí y S2 –S6: parcelas con SAF.

8.3.3 Conectividad funcional potencial: teoría de circuitos

Se generó un mapa de resistencia basados en una especie sensible con movilidad limitada, en este caso *Crypturellus boucardi* (mancolola o tinamú) ya que fue registrada en los sitios de muestreo y únicamente en bosque. Se generó una matriz de resistencia a partir de los valores asignados por el equipo de investigación (Figura 11 y Tabla H1 Apéndice H).

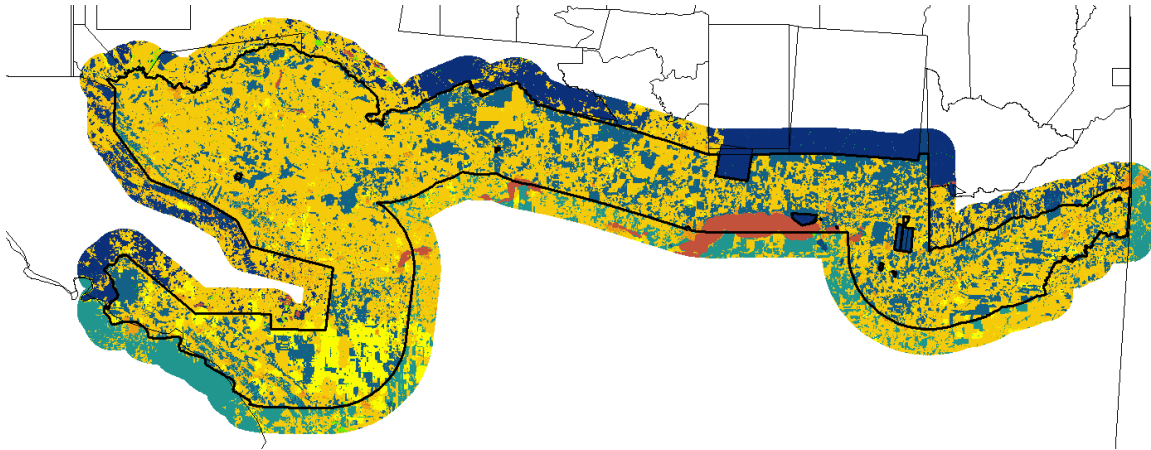
A partir del mapa de resistencia y utilizando las diez redes con mayor importancia como hábitat fuente se identificaron rutas con menor costo que corresponden a zonas con alta conectividad ecológica y por lo tanto pueden funcionar como corredores biológicos dentro de la ZAM (Figura 12). Una vez más se muestra la contribución de la red asociada al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá en la conectividad de la ZAM. También se resaltan corredores en el sector este y centro de la ZAM, así como un corredor de mayor longitud en el sector oeste

Informe final de Proyecto de Investigación

que conecta desde la red asociada al área de protección de flora y fauna Chan-Kin en México hacia el PNLT.

Figura 11

Mapa de resistencia del paisaje para una especie con alta sensibilidad y baja movilidad en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para 2024



Nota. Los valores de resistencia se muestran de los más bajos (color azul oscuro) a los más altos (color marrón).

Entre los corredores identificados con el análisis realizado, se encuentran algunas coincidencias con las redes de conectividad para el bloque identificadas por la Fundación ProPetén (2025), específicamente un área de conectividad del Panat hacia el BPCC, otra desde el PNYNN hacia la RNPEM, así como al sur del PNYNN. Siendo esta última la que presenta mayores valores de conectividad como corredor. La importancia de algunos de estos remanentes en la ZAM, especialmente aquellos que permiten la conectividad entre el bloque y el BPCC, mismos que también fueron identificados por García & Leonardo (2016).

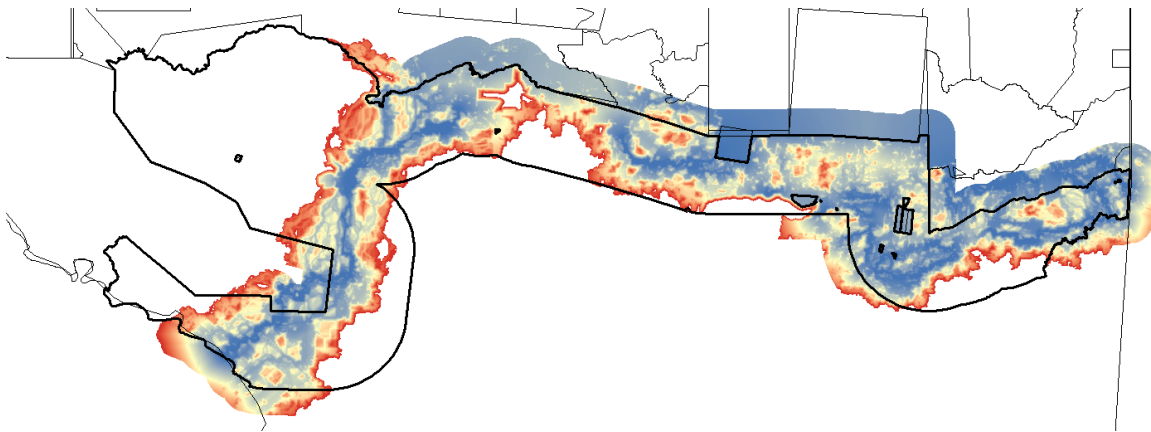
En el estudio de Falconi-Briones et al. (2024) enfocado en la conectividad en la Selva Maya para *Tayassu pecari* (pecarí de labio blanco) y *T. bairdii* (danto o tapir) utilizando también mapas de resistencia y análisis de conectividad con la teoría de circuitos, a través de rutas de menor costo se identificaron corredores de importancia dentro de la ZAM y otras zonas de la RBM, los cuales coinciden con resultados del presente estudio. Para el caso de *T. pecari* el

Informe final de Proyecto de Investigación

bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá representa un área de importancia para la conectividad en la región, mientras que para *T. bairdii* se identificaron varios corredores dentro de la ZAM. Para ambas especies se identifica un corredor que conecta a la red asociada al PNLT con la red asociada al área de protección de flora y fauna Chan-Kin en México.

Figura 12

Corredores biológicos potenciales en redes ecológicas dentro de la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya



Nota. Los valores se muestran del menor flujo de corriente (color rojo) al mayor flujo (color azul).

En el estudio de Falconi-Briones et al. (2024) al abordarse una escala regional, se toman en cuenta otras zonas núcleo para conectar por corredores, sin embargo, se encuentran las coincidencias con el presente estudio que refuerzan la importancia de la ZAM para la conectividad regional, especialmente hacia áreas ubicadas más al sur que la RBM como la Reserva de la Biósfera Montes Azules en México y del centro y sur de Belice.

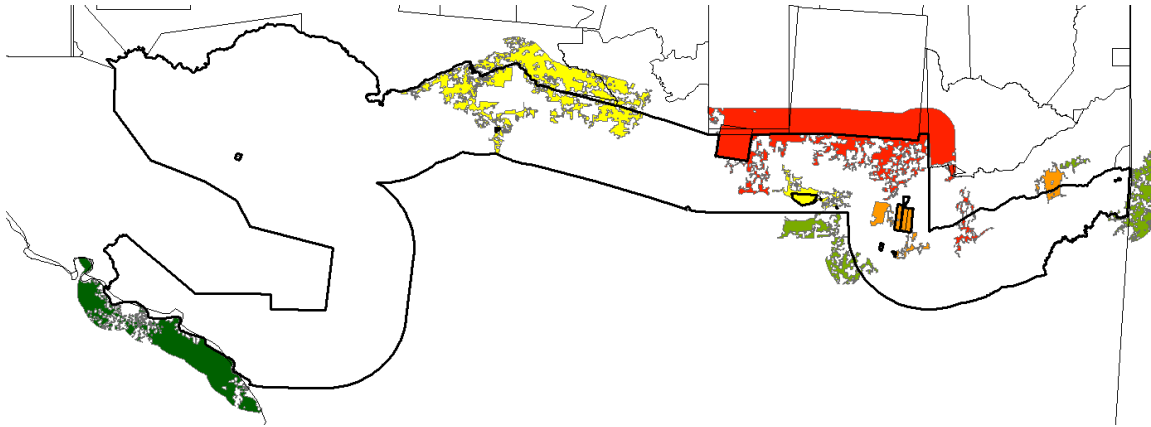
Con el análisis de centralidad ráster se evaluó la importancia de las diez redes evaluadas para la conectividad en la ZAM (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Una vez más, la red asociada al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá presenta la mayor importancia debido a su posición central en el conjunto de redes y su forma alargada en el eje horizontal, lo que promueve la conectividad entre redes ubicadas en sus cercanías. Como ya se mencionó, la importancia del remanente asociado al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá ya ha

Informe final de Proyecto de Investigación

sido identificada en estudios previos de conectividad en la RBM (Falconi-Briones et al., 2024; García et al., 2011; García et al., 2015; García & Leonardo, 2016).

Figura 13

Centralidad ráster de las diez redes con mayor importancia como hábitat fuente para la conectividad en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para 2024



Nota. Los valores se muestran de los más bajos (color verde) a los más altos (color rojo).

Con igual importancia a la red asociada al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxá se presenta una red al suroeste del PNYNN, ya que facilita la conectividad entre redes del sector este de la ZAM. Le siguen en importancia la red asociada a la RNPEM y otra red al sureste del PNYNN ya que promoverían la conectividad a lo interno de la ZAM y hacia Belice. Estos remanentes también fueron identificados como importantes por García & Leonardo (2016).

En el análisis de *pinch points* se muestran áreas críticas para la conectividad dentro de los corredores proyectados en el análisis de circuitos (Figura 14). Estas áreas críticas deben considerarse como sitios prioritarios para la implementación de estrategias que promuevan la restauración ecológica como la regeneración natural o sistemas productivos como SAF.

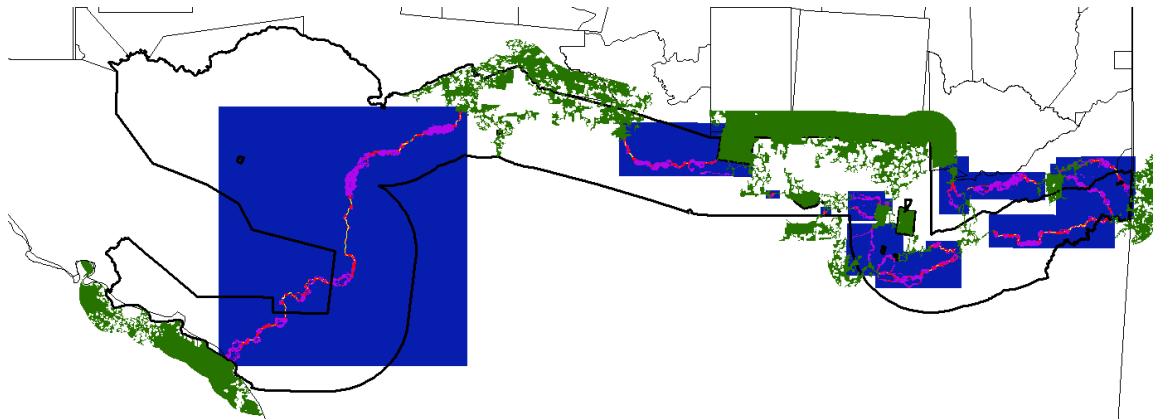
En el estudio de Falconi-Briones et al. (2024) se identificaron algunos *pinch points* o nodos de constricción dentro de la ZAM. Para el caso de *T. bairdii* (danto o tapir) prácticamente toda la región central de la ZAM presenta *pinch points*, lo que coincidiría en parte con los resultados obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, la mayor resolución utilizada en el

Informe final de Proyecto de Investigación

presente estudio brinda mayor detalle facilitando la priorización de parcelas o terrenos específicos para la implementación de estrategias de restauración ecológica. Para *T. pecari* (jabalí labio blanco) se identificaron *pinch points* en el centro-sur que nos fueron identificados en el presente estudio. Para ambas especies, tanto en el estudio de Falconi-Briones et al. (2024) como el presente estudio identificaron *pinch points* en la región sur del parque nacional Sierra de Lacandón, por lo que debe considerarse como un área prioritaria para la conservación de la cobertura forestal como para la implementación de medidas de restauración ecológica.

Figura 14

Áreas críticas para la conectividad dentro de corredores biológicos en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya



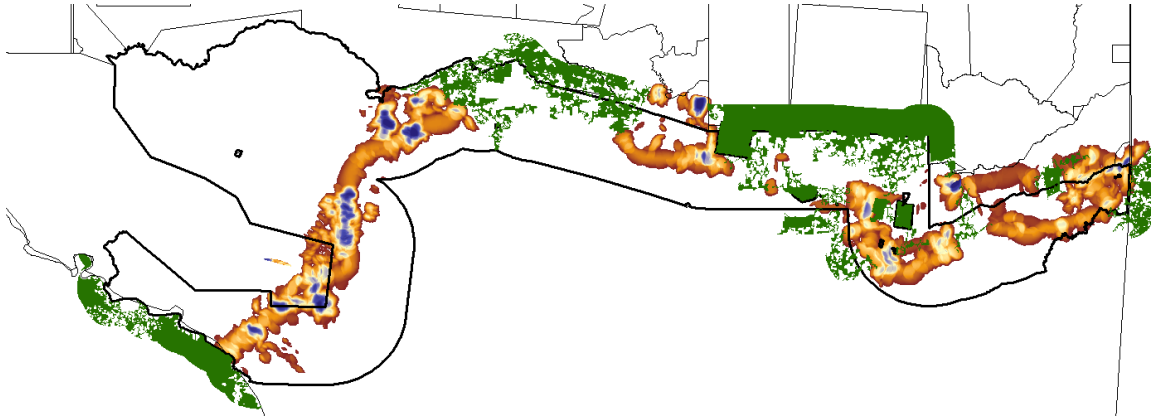
Nota. Los valores se muestran desde el más bajo (azul) hasta el más alto (amarillo).

Se identificaron distintas barreras para la conectividad en los corredores biológicos proyectados (Figura 15). Se presenta una barrera significativa para la conectividad entre el BPSMLPZ que forma parte del bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá y el PNLT, misma que está asociada con la comunidad Cruce Dos Aguadas, así como otra barrera en la esquina suroeste de la reserva indígena BioItzá. Otra barrera significativa se presenta al suroeste del PNYNN para la conectividad con la red que se ubica en parte de la ZUM y la ZAM. El corredor en el sector oeste de la ZAM presenta múltiples barreras significativas. Las barreras identificadas, de manera general están asociadas con centro poblados y áreas abiertas extensas.

Informe final de Proyecto de Investigación

Figura 15

Barreras para la conectividad dentro de corredores biológicos para redes ecológicas en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya



Nota. Las fuentes ecológicas se muestran en color verde. Las principales barreras para la conectividad se muestran en color azul.

La identificación de barreras para la conectividad es un nuevo aporte, ya que no se realizó en estudios previos de conectividad en la RBM (García et al., 2011; García et al., 2015; García & Leonardo, 2016). Dado que las barreras constituyen áreas con valores altos de resistencia a la conectividad dentro de corredores potenciales, posiblemente se requiera de la implementación de estrategias complementarias a la transformación de sistemas productivos extensivos hacia SAF, como la educación ambiental y medidas de mitigación como pasos para fauna en la infraestructura vial. Siendo un aporte importante el mapa generado, ya que permite la planificación espacial de acciones puntuales de los programas que promueven la transición ecológica de Petén.

9. Propiedad intelectual

Los resultados del proyecto son de carácter académico y teórico, por lo cual, serán publicados en un artículo científico en una revista indexada en el cual se reconocerá la propiedad intelectual de los autores.



Informe final de Proyecto de Investigación

10. Beneficiarios directos e indirectos

Tabla 4

Beneficiarios directos e indirectos de la investigación

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de Beneficiarios indirectos
Mapa digital de redes ecológicas potenciales en la ZAM.	ProPetén, SwissContact, Mancomunidad de la cuenca del lago Petén, fundación Defensores de la Naturaleza, Conap y el Cecon de la USAC.	6	Ciudadanos de los municipios de la cuenca lago Petén Itzá Colaboradores oficinas de gestión ambiental de las municipalidades Otros socios de los programas	140,000 65 4
Mapas digitales de distribución potencial histórica y a	ProPetén, SwissContact, Mancomunidad de la cuenca del lago Petén, fundación	6	Ciudadanos de los municipios de la cuenca lago Petén Itzá	140,000 65



Informe final de Proyecto de Investigación

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de Beneficiarios indirectos
futuro de 25 especies amenazadas .	Defensores de la Naturaleza, Conap y el Cecon de la USAC.		Colaboradores oficinas de gestión ambiental de las municipalidades Otros socios de los programas	4
Mapa digital con sitios prioritarios para la conservación de especies amenazadas	ProPetén, SwissContact, Mancomunidad de la cuenca del lago Petén, fundación Defensores de la Naturaleza, Conap y el Cecon de la USAC.	6	Ciudadanos de los municipios de la cuenca lago Petén Itzá Colaboradores oficinas de gestión ambiental de las municipalidades Otros socios de los programas	140,000 65 4
Mapa digital con áreas de	ProPetén, SwissContact,	6	Ciudadanos de los municipios de la	140,000



Informe final de Proyecto de Investigación

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de Beneficiarios indirectos
alto valor para la conectividad del paisaje	Mancomunidad de la cuenca del lago Petén, fundación Defensores de la Naturaleza, Conap y el Cecon de la USAC.		cuenca lago Petén Itzá Colaboradores oficinas de gestión ambiental de las municipalidades Otros socios de los programas	65 4

11. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados

Tabla 5

Actividades realizadas de divulgación y difusión del proyecto (Ver

Apéndice I)

	Sí	No
Presentación TV		
Entrevistas radiales		



Informe final de Proyecto de Investigación

	Sí	No
Podcast		
Entrevista DIGI		
Recursos audiovisuales		
Congresos científicos nacionales o internacionales		
Talleres	X	
Publicación de libro		
Publicación de artículo científico		
Divulgación por redes sociales institucionales	X	
Presentación pública		
Presentación autoridades USAC		
Presentación a beneficiarios directos	X	
Entrega de resultados	X	
Docencia en grado		
Docencia postgrado		
Póster científico		
Trifoliales		



Informe final de Proyecto de Investigación

	Sí	No
Conferencias		
Otro (describa)		

12. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

Con respecto a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND), los resultados del presente estudio son insumos para el cumplimiento de la meta E4P2M2: “En 2032, al menos un 29% del territorio del país se encuentra cubierto por bosques naturales y se ha incrementado en un 3% la cobertura forestal por medio de la restauración ecológica en tierras que tienen capacidad de uso para protección y conservación de bosques” (Secretaría de Planificación & Programación de la Presidencia [Segeplan], 2023), ya que se identificaron áreas prioritarias para la implementación de programas de restauración ecológica en el marco de la transición ecológica de Petén.

La contribución específica hacia esta meta se basa en distintos indicadores. Uno de los indicadores en los que se contribuye es el indicador 15.1.2: Áreas clave de biodiversidad terrestre y del agua dulce que forman parte del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas desglosada por tipo de ecosistema, ya que se podrá actualizar la información y delimitación espacial de las áreas clave y su representatividad en áreas del Sigap en la RBM, tanto actuales como en proyecciones en escenarios bioclimáticos futuros (BirdLife International et al., 2023). Este indicador en el país se basa en áreas de importancia para la reproducción de aves (IBAs) y sitios de la alianza cero extinciones (AZEs), por lo que, a través de esta investigación se sugiere la priorización de los sitios identificados como fuentes ecológicas dentro de la ZAM que no se encuentren bajo algún tipo de protección o manejo, de modo que pueda asegurarse su conservación. Adicionalmente, se identificaron áreas de conectividad que a su vez serán sitios prioritarios para la restauración ecológica.



Informe final de Proyecto de Investigación

También se contribuye con el indicador de la meta E4P2M2, el indicador PD3r Complementario: Porcentaje de territorio cubierto por el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (legalmente establecidas) a través de la propuesta de corredores biológicos y otras áreas de conectividad, que si bien, pueden no ser áreas propiamente incorporadas al Sigap, a través de la conectividad funcional, aumentarán el área efectiva de conservación de áreas protegidas con énfasis en las fuentes ecológicas, combinando áreas legalmente establecidas con otros usos compatibles con la conservación en los distintos territorios. Así mismo, se generaron insumos teóricos para orientar los esfuerzos para alcanzar otro indicador de esta meta es el indicador: 15.1.1: Superficie forestal como proporción de la superficie total.

En el mediano y largo plazo, a través de la aplicación de los insumos que se generaron con el presente estudio, se busca contribuir con la conservación de especies incluidas en la Lista Roja de la UICN, de modo que sus poblaciones se conserven a través del mantenimiento de la conectividad en redes ecológicas, con lo cual también se contribuirá con el indicador: 15.5.1: Índice de especies amenazadas o en peligro de extinción.

Adicionalmente, de acuerdo con el informe Planeta Protegido 2020 para Latinoamérica y el Caribe, actualmente no se cumple la meta 11 de Aichi de asegurar que el 17% del territorio esté conservado y conectado, ya que, solo nueve países lo cumplen (Álvarez Malvido et al., 2021). En Guatemala el 80.4% del territorio no es conservado, únicamente el 7.1% está conservado y conectado y el 12.5% restante está conservado, pero no conectado (Álvarez Malvido et al., 2021). A través de los resultados del proyecto, se promueve tanto la conservación, como la conectividad de remanentes de bosque natural, y se contribuye al cumplimiento de esta importante meta.

Relacionado con las metas mencionadas anteriormente, también se contribuye con el cumplimiento del plan de acción nacional de cambio climático en cuanto a la adaptación al cambio climático en el aspecto de recursos forestales, ecosistemas y áreas protegidas (Consejo Nacional de Cambio Climático [CNCC], 2016, pg 86). Específicamente en el resultado 1, en la meta de aumentar en uno por ciento la superficie del Sigap, con la acción de implementar corredores biológicos para el establecimiento de áreas de escape que incluya



Informe final de Proyecto de Investigación

conservación, restauración y manejo de agro biodiversidad. Dentro de mismo resultado 1, también se contribuye con insumos teóricos para alcanzar la meta: Superar los 600 puntos en la efectividad de manejo del Sigap, específicamente con las acciones: a) “Elaborar planes de ordenamiento territorial en los que se considere el manejo integrado de cuencas, el paisaje productivo y los corredores biológico, respetando los derechos consuetudinarios, con la participación plena y efectiva de los pueblos indígenas” y b) “Elaborar líneas base de distribución geográfica de poblaciones de especies indicadoras de flora y fauna que permitan el monitoreo del comportamiento de la biodiversidad (desplazamiento de poblaciones de flora y fauna, incluyendo plagas y enfermedades)” (CNCC, 2016).

La investigación desarrollada se enmarca en las líneas de investigación de cambio climático, en cuanto a la adaptación al cambio climático, en el tema de biodiversidad, en los ejes temáticos: ecosistemas terrestres a través de análisis de restauración de ecosistemas, basado en especies nativas, biodiversidad con insumos para el monitoreo del comportamiento de la biodiversidad por efectos climáticos (desplazamiento de poblaciones fauna) y con mayor énfasis, el de áreas protegidas con la propuesta de nuevas redes de corredores ecológicos (Consejo Nacional de Cambio Climático [CNCC], 2017).

Contribución aplicada al bienestar de las personas y al desarrollo sustentable del país

La principal contribución de la presente investigación es de carácter teórico, y permite a instituciones involucradas en la transición ecológica de Petén contar con insumos generados a través de investigación científica desarrollada por la academia para la priorización de sitios para la implementación de acciones de conservación y adaptación de los sistemas productivos en la ZAM. La utilización de criterios científicos basados en información de especies amenazadas en un contexto regional de cambio climático como guía para la planificación espacial, promueve que las acciones que se implementen tengan un mayor impacto positivo para la sociedad y productores que participen en los distintos programas y proyectos de instituciones de gobierno y la cooperación internacional, promoviendo la coexistencia de actividades productivas dentro de la reserva y la conservación. De modo que, se asegure que



Informe final de Proyecto de Investigación

modos de vida y sistemas productivos basados en la biodiversidad en la ZAM podrán mantenerse, promoviendo la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza.

La información espacial generada en el proyecto adquiere su mayor potencial al integrarse en sistemas de información geográfica donde puedan identificarse localidades específicas para la implementación de actividades de restauración ecológica por las instituciones relacionadas con la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica.

Así mismo, como lo indica el plan de acción nacional de cambio climático, con los resultados obtenidos, se contribuye a conservar, proteger, restaurar y promover el uso sostenible y racional de la biodiversidad para la adaptación al cambio climático, de manera que se asegure la existencia de bienes y servicios que recibe la población en la ZAM, en la región y a nivel mundial, al considerarse la denominada Selva Maya como un sitio de importancia internacional para la biodiversidad.

Los resultados del estudio están siendo divulgados directamente a las instituciones que participan en los programas “Paisajes mayas sostenibles del Petén” a través de la participación del Cecon de la USAC en los mismos. Durante la ejecución del proyecto se realizaron talleres de divulgación del proyecto y de resultados parciales. Así mismo, fueron divulgados a propietarios de las parcelas donde se realizaron los muestreos de campo.

13. Vinculación

El proyecto desde su planteamiento tuvo vinculación directa con la oenegé internacional Swisscontact y la oenegé local ProPetén, quienes participan en programas relacionados con la transición verde de Petén y que pueden hacer uso de los insumos generados con la investigación.

Para la divulgación de los resultados se tendrá relación con otros socios y beneficiarios locales que participan en el programa de “Paisajes mayas sostenibles del Petén” de Swisscontact (Swisscontact, 2024). También se incluirá a la mancomunidad para el



Informe final de Proyecto de Investigación

desarrollo sostenible de los municipios de la cuenca del lago Petén Itzá (Manmuni Petén Itzá).

A lo interno del Cecon, el proyecto estuvo vinculado con la unidad de administración de áreas protegidas universitarias, específicamente con la coordinación y guardarrecurso del biotopo protegido Cerro Cahuí. Los insumos generados pueden ser integrados directamente en las actualizaciones de planes maestros y planes operativos anuales del biotopo.

14. Conclusiones

Se generaron insumos científicos que pueden utilizarse para orientar la planificación espacial de acciones de restauración ecológica y adaptación en sistemas productivos por programas de desarrollo orientados a la denominada transición verde de Petén. Los insumos consisten principalmente en análisis espaciales para estimación de la conectividad ecológica tanto estructural como funcional potencial.

Se delimitaron 1,791 redes ecológicas potenciales dentro de la ZAM de la RBM y zonas aledañas, de las cuales, las de mayor área corresponden a: la red asociada al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá y áreas asociadas (378 km²), la red asociada al sur del parque nacional Laguna del Tigre (220 km²) y la red asociada al área de protección de flora y fauna Chan-Kin en México (160 km²). El 92% de las redes presentan una extensión menor a un kilómetro cuadrado.

Se identificaron las principales fuentes ecológicas dentro de la ZAM de la RBM y zonas aledañas. La fuente ecológica de mayor importancia corresponde a la red asociada al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá y áreas asociadas. Le sigue en importancia la red asociada al sur del parque nacional Laguna del Tigre, así como redes ubicadas en la zona oeste de la ZAM, incluyendo las redes asociadas al biotopo protegido Cerro Cahuí, la reserva natural privada El Manantial, otras redes dentro de la ZAM, la red asociada al área de protección de flora y fauna Chan-Kin en México y la red asociada a remanentes en Belice.



Informe final de Proyecto de Investigación

Se identificaron áreas de importancia para la conectividad dentro de la ZAM de la RBM entre las que se encuentran los siguientes corredores biológicos potenciales: 1) desde la red asociada al área de protección de flora y fauna Chan-Kin en México hacia la red asociada al sur del parque nacional Laguna del Tigre, 2) desde la red asociada al sur del parque nacional Laguna del Tigre hacia la reserva comunitaria indígena BioItzá, 3) desde la reserva comunitaria indígena BioItzá y el parque nacional Tikal, a través del biotopo protegido Cerro Cahú hacia el sector oeste de la ZAM hasta la red asociada a remanentes en Belice. Dentro de todos estos corredores se identificaron áreas con alta densidad de corriente que representan remanentes de bosque críticos para el mantenimiento de la conectividad en la ZAM. De entre las principales fuentes ecológicas, la red asociada al bloque Zotz-Tikal-BioItzá-Yaxhá y áreas asociadas, es el área de mayor importancia para la conectividad, seguida de la red asociada a la reserva natural privada El Manantial y dos redes ubicadas al sur del parque nacional Yaxhá Nakum Naranjo.

15. Recomendaciones

El presente estudio brinda una aproximación al estudio de la conectividad ecológica en la ZAM que debe continuar siendo explorada y estudiada a profundidad, con el fin de ir afinando los insumos desarrollados a través de investigación científica. Es importante generar más información de campo que permita aproximarse más al componente funcional del estudio de la conectividad en cuanto a la especificidad hacia especies particulares.

Se recomienda también continuar con el modelado de la distribución potencial de especies amenazadas en escenarios de cambio climático para tener una mejor proyección del impacto que puede tener sobre la diversidad biológica y consecuentemente en los bienes y servicios de los que se beneficia la sociedad. En este aspecto, es importante poder contar con más datos de campo con referencia espacial en distintas regiones del país. A la vez, se sugiere continuar con la digitalización de especímenes en museos y colecciones científicas del país.

Con respecto a la metodología para el modelado de la distribución potencial de especies se recomienda complementar los modelos generados con otros métodos que integren distintos



Informe final de Proyecto de Investigación

algoritmos para generar resultados más robustos. En relación con la colecta, depuración y mejora de los datos de GBIF y otras plataformas para su uso en modelos de distribución potencial, se recomienda utilizar procedimientos automatizados y mejorarlos con el uso de inteligencia artificial.

16. Referencias

- Aguilera Rodas, A. L. (2020). *Análisis de viabilidad poblacional de *Tapirus bairdii* (Gil, 1865) en proyecciones de escenarios de calidad de hábitat para su conservación en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala* [Tesis de licenciatura]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Albert, C. H., Rayfield, B., Dumitru, M., & Gonzalez, A. (2017). Applying network theory to prioritize multispecies habitat networks that are robust to climate and land-use change. *Conservation Biology*, 31, 1383–1396. <http://doi.org/10.1111/cobi.12943>.
- Álvarez Malvido, M., Lázaro, C., De Lamo, X., Juffe-Bignoli, D., Cao, R., Bueno, P., Sofrony, C., Maretti, C. & Guerra, F. (Editores). (2021). *Informe Planeta Protegido 2020: Latinoamérica y el Caribe*. Ciudad de México, México; Cambridge UK; Gland, Switzerland; Bogotá, Colombia: RedParques, UNEP-WCMC, CMAP-UICN, WWF, CONANP y Proyecto IAPA. https://www.protectedplanet.net/rails/active_storage/blobs/eyJfcmFpbHMiOnsibWVzc2FnZSI6IkJBaHBBaW9DIiwZlXhwIjpuZlJwdXNLCjwdXliOiJibG9iX2lkIn19--8f4b63aea45b90967718cdd1e3f15b7156923d2a/LAC_Protected_Planet_2020_single_SP.pdf
- Ankersen, T. T. (1994). Mesoamerican Biological Corridor: The legal framework for an integrated, regional system of protected areas. *Journal of Environmental Law and Litigation*, 9, 499–549. <http://scholarship.law.ufl.edu/facultypub/691>
- Bustamante, D. C., Estrada, C. G., García, M., & Machuca, O. (2012). *Análisis de la efectividad ecológica de los espacios terrestres incluidos en el Sistema Guatemalteco de Áreas*



Informe final de Proyecto de Investigación

Protegidas (SIGAP) [Informe final Proyecto 2011-26]. Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://digi.USAC.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2011-026.pdf>

Bennett, G. (2004). *Integrating biodiversity conservation and sustainable use, lessons learnt from ecological networks*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Suiza. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2004-002.pdf>

Bennett, G. & Mulongoy, K. J. (2006). Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones. *Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Technical Series*, 23. <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-23.pdf>

Bennett, G. & Wit, P. (2001). *The development and application of ecological networks: a review of proposals, plans and programmes*. AID Environment/IUCN. <https://www.cbd.int/doc/pa/tools/The%20Development%20and%20Application%20of%20Ecological%20Networks.pdf>

BirdLife International, International Union for the Conservation of Nature and United Nations Environment Programme & Convention on Migratory Species. (Diciembre, 2023). *Based on spatial overlap between polygons for Key Biodiversity Areas from the World Database of Key Biodiversity Areas (www.keybiodiversityareas.org) and polygons for protected areas from the World Database on Protected Areas and (where available) for Other Effective area-based Conservation Measures and from the World Database on OECMs (www.protectedplanet.net)*. Recuperado de <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/database/>

Boitani, L., Falcucci, A., Maiorano, L., & Rondinini, C. (2007). Ecological networks as conceptual frameworks or operational tools in conservation. *Conservation Biology*, 21(6), 1414-1422. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00828.x>

Chaves, G., Lamar, W., Porrás, L.W., Solórzano, A., & Sunyer, J. (2021). *Agkistrodon bilineatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T64296A3134536. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T64296A3134536.en>.



Informe final de Proyecto de Investigación

- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2010). *Integración de los análisis de vacíos ecológicos y estrategias para conservación* [Documento técnico 84 (01-2010)]. The Nature Conservancy y Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2015). *Plan Maestro de la Reserva de la Biósfera Maya, Tomo 3, Zona de Amortiguamiento*. Autor. Guatemala. https://selvamaya.info/wp-content/uploads/2017/01/RBM_Tomo-3_Light.pdf
- Consejo Nacional de Cambio Climático. (2016). *Plan de acción nacional de cambio climático. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia*. Autor. <https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Plan-de-Accio%CC%81n-Nacional-de-Cambio-Clima%CC%81tico-ver-oct-2016-aprobado-1.pdf>
- Consejo Nacional de Cambio Climático. (2017). *Líneas de investigación en cambio climático. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia*. Autor. <https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2018/01/Lineas-de-investigacio%CC%81n-en-Cambio-Climatico.pdf>
- Conservation International. (2004). *Región Norte del hotspot de biodiversidad de Mesoamérica: Belice, Guatemala, México*. Critical ecosystem partnership fund. <https://www.cepf.net/resources/documents/northern-mesoamerica-ecosystem-profile-2004>
- Convention on Biological Diversity. (2021). *First draft of the post-2020 global biodiversity framework* [Documento CBD/WG2020/3/3]. Autor. <https://www.cbd.int/doc/c/abb5/591f/2e46096d3f0330b08ce87a45/wg2020-03-03-en.pdf>
- Convention on Migratory Species. (2020). *Improving ways of addressing connectivity in the conservation of migratory species* [Documento UNEP/CMS/Resolution 12.26]. https://www.cms.int/sites/default/files/document/cms_cop13_res.12.26_rev.cop13_e.pdf
- D'Aloia, C. C., Naujokaitis-Lewis, I., Blackford, C., Chu, C., Curtis, J. M. R., Darling, E., Guichard, F., Leroux, S., Martensen, A., Rayfield, B., Sunday, J., Xuereb, A., & Fortin M. (2019). Coupled networks of permanent protected areas and dynamic conservation areas for



Informe final de Proyecto de Investigación

biodiversity conservation under climate change. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 27.

<https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00027>

de Grammont, P. C. & Cuarón, A. (2016). *Peromyscus yucatanicus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T16696A22362477. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T16696A22362477.en>.

Falconi-Briones, F.A., Bolom-Huet, R., Naranjo, E.J., Reyna-Hurtado, R., Enríquez-Rocha, P. L., Moreira-Ramírez, J. F., García, M. J., & Medellín, R. A. (2024). Connectivity at risk: a critical scenario for the endangered Baird's tapir and the vulnerable white-lipped peccary in the Maya Forest. *Biodiversity and Conservation*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10531-024-02968-w>

Fall, A., Fortin, M. J., Manseau, M., & O'Brien, D. (2007). Spatial graphs: principles and applications for habitat connectivity. *Ecosystems*, 10, 448–461. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9038-7>

Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Forman, R. T. (1995). *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, New York.

Forman, T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. New York: John Wiley y Sons.

Fundación ProPetén. (2025). *Sistematización y maquetación de la experiencia "Redes de conectividad" como mecanismo de adaptación basada en ecosistemas y el modelo del "Sistema de Alerta Temprana para Incendios forestales" como experiencia institucional para la gestión de reservas naturales y conservación sumideros de carbono* [Informe consultoría]. Autor.

Gaitán, C. A., González-Castillo, V. R., Guzman-Flores, G. D., González-Xiloj, P. A., Bá, U. T., García-Anleu, R. A., & García, M. J. (2022). Resident jaguars (*Panthera onca*) at the heart



Informe final de Proyecto de Investigación

of the Maya Forest in Guatemala. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93 (2022): e934073.

<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.4073>

García, M., Castillo, F., & Leonardo, R. (2011). Evaluación preliminar de la conectividad de hábitat para el tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) en Guatemala. *Tapir Conservation Newsletter*, 20/1 & 2(28), 20-24.

<http://www.tapirconservation.org/index.php/tc/article/view/133>

García, M. J., López, J., & Ramírez, M. F. (2015). Regeneración natural de la vegetación y su aplicación en el desarrollo de estrategias de la restauración ecológica en la Reserva de Biosfera Maya, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 2(1), 53-64.

<https://doi.org/10.36829/63CTS.v2i1.48>

García, M. J., Tun, J. M., Hooper, K. F., Cajbon, M. G., & Hernández, M. F. (2023). *Actualización de la delimitación espacial de áreas clave para la conservación de fauna amenazada en Guatemala* [Informe final]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación.

García, M. J., & Leonardo, R. (2016). Clasificación del hábitat potencial del tapir centroamericano (*Tapirus bairdii* Gill, 1865) para su conservación en Guatemala. *Therya*, 7(1), 107-112.

<https://doi.org/10.12933/therya-16-345>

García, M. J. & Leonardo, R. S. (2019). Historia natural y conservación del tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) en Guatemala. En Kraker, C., Calderón, A. P., & Cabrera, A. A. (Eds), *Perspectivas de investigación sobre los mamíferos silvestres de Guatemala* (pp. 125-135). Guatemala: Asociación de Mastozoólogos de Guatemala.

Global Biodiversity Information Facility. (15 de mayo 2025). GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.wq53qf>

Global Biodiversity Information Facility. (16 de mayo 2025). GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.h3szzh>



Informe final de Proyecto de Investigación

- Global Biodiversity Information Facility. (19 de mayo 2025a). GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.jzpsck>
- Global Biodiversity Information Facility. (19 de mayo 2025b). GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.dgc4kr>
- Gran Selva Maya. (28 de noviembre 2025). Corredor biocultural Gran Selva Maya. Gran Selva Maya. <https://granselvamaya.com/>
- Hanski, I. (1999). *Metapopulation ecology*. Oxford: Oxford University Press.
- Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B., Locke, H., Carr, M., Pulsford I., Pittock, J., White, J. W., Theobald, D. M., Levine, J., Reuling, M., Watson, J. E. M., Ament, R., & Tabor, G. M. (2020). Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors. *Best Practice Protected Area Guidelines Series, 30*. Gland, Switzerland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30.en>
- Huang, L., Wang, J., Fang, Y., Zhai, T., & Cheng, H. (2021). An integrated approach towards spatial identification of restored and conserved priority areas of ecological network for implementation planning in metropolitan region. *Sustainable Cities and Society, 69*, 102865. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102865>
- Huang, X., Wang, H., Shan, L., & Xiao, F. (2021). Constructing and optimizing urban ecological network in the context of rapid urbanization for improving landscape connectivity. *Ecological Indicators, 132*, 108319. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108319>
- International Union for the Conservation of Nature Amphibian Specialist Group. (2020). *Triprrion petasatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T56051A53962803. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T56051A53962803.en>.
- Jongman R. & Bogers, M. (2008). *Current status of the practical implementation of ecological networks in the Netherlands*. Alterra/European Centre for Nature Conservation



Informe final de Proyecto de Investigación

- Jongman, R. H. G. (1995). Nature conservation planning in Europe: developing ecological networks. *Landscape and Urban Planning*, 32, 170-183. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(95\)00197-0](https://doi.org/10.1016/0169-2046(95)00197-0)
- Jongman, R. H. G., Külvik, M., & Kristiansen, I. (2004). European ecological networks and greenways. *Landscape and Urban Planning*, 68, 305–319. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(03\)00163-4](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00163-4)
- Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., & Brumby, S. P. (11-16 de julio 2021). *Global Land Use/Land Cover with Sentinel 2 and Deep Learning*. International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Brussels. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>
- Kass, J. M., Pinilla-Buitrago, G. E., Paz, A., Johnson, B. A., Grisales-Betancur, V., Meenan, S. I., Attali, D., Broennimann, O., Galante, P. J., Maitner, B. S., Owens, H. L., Varela, S., Aiello-Lammens, M. E., Merow, C., Blair, M. E., & Anderson, R. P. (2023). wallace 2: a shiny app for modeling species niches and distributions redesigned to facilitate expansion via module contributions. *Ecography*, 2023(3), e06547. <https://doi.org/10.1111/ecog.06547>
- Keeley, A. T. H., Beier, P., & Jenness, J. S. (2021). Connectivity metrics for conservation planning and monitoring. *Biological Conservation*, 255, 2021, 109008. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109008>.
- Larsen, F. W., Turner, W. R., & Brooks, T. M. (2012) Conserving critical sites for biodiversity provides disproportionate benefits to people. *PLoS ONE*, 7(5), 1-9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036971>
- Loarca Oliva, H. (27 de septiembre de 2024). Estos son los proyectos en los que Usaid invertirá \$17 millones para conservar la Biosfera Maya. La Hora. <https://lahora.gt/nacionales/hloarca/2024/09/27/estos-son-los-proyectos-en-los-que-usaid-invertira-17-millones-para-conservar-la-biosfera-maya/>



Informe final de Proyecto de Investigación

- Lu, Z., Li, W., Wang, Y., & Zhou, S. (2022). Bibliometric analysis of global research on ecological networks in nature conservation from 1990 to 2020. *Sustainability*, 14(9), 4925. <https://doi.org/10.3390/su14094925>
- MacArthur, R. H. & Wilson, E. O. (1967). *The theory of island biogeography*. Princeton University Press.
- McCullough, D. R. (1996). *Metapopulations and wildlife conservation*. Island Press
- McRae, B. H. (2012). Pinchpoint Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy, Seattle WA. Available at: <http://www.circuitscape.org/linkagemapper>
- McRae, B. H., Dickson, B. G., Keitt, T. H., & Shah, V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology and conservation. *Ecology*, 89(10), 2712-2724. <https://doi.org/10.1890/07-1861.1>
- McRae, B. H., & Kavanagh, D. M. (2011). Linkage Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy, Seattle WA. Available at: <http://www.circuitscape.org/linkagemapper>
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013) A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36, 1058-1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Nguimdo, V. R. Abwe, V., E. E., Betobe, N. E., Morgan, B. J., & Waltert, M. (2025). Rethinking Spatial Prioritisation for Primate Conservation in an Unprotected Intact Forest Landscape in the Gulf of Guinea. *Animal Conservation*, 2025, 1–15. <https://doi.org/10.1111/acv.70045>.
- Perera-Romero, L., McNab, R., Garcia-Anleu, R., Polisar, J., Sutherland, C., & Thornton, D. (2025). Use of species' responses to cryptic anthropogenic disturbances for monitoring biodiversity outcomes in tropical forests. *Conservation Biology*, e70159. <https://doi.org/10.1111/cobi.70159>
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Recuperado de http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2021-6-14.



Informe final de Proyecto de Investigación

- Rivas Romero, J. A., Morales Can, J. E. & Flores Robles, M. E. (2004). *El papel de los Crácidos (Aves: Galliformes) como dispersores y depredadores de semillas* [Informe final]. Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, Guatemala.
https://biblioteca.senacyt.gob.gt/library/images/2/25/Fodecyt_2001.28.pdf
- Rivera, P., Ochoa, W., & Salguero, M. (2020). *Escenarios de cambio climático para Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Programa Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad.
<https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2020/09/ESCENARIOS-DE-CAMBIO-CLIMATICO-PARA-GUATEMALA-Agosto-Final.pdf>
- Ruiz Gutiérrez, V., Berlanga, H. A., Calderón Parra R., Savarino Drago, A., Aguilar Gómez, M. A., & Rodríguez Contreras, V. (2020). *PROALAS: Programa de América Latina para las Aves Silvestres. Manual ilustrado para el monitoreo de aves*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Iniciativa para la Conservación de las Aves de Norte América, México y Laboratorio de Ornitología de Cornell.
<https://www.birdscaribbean.org/wp-content/uploads/2023/09/PROALAS-Espan%CC%83ol.pdf>
- Sandoval, E. (9 de diciembre 2022). Programa de cooperación impulsa la transición verde en Petén. *Agencia Guatemalteca de Noticias*. <https://agn.gt/programa-de-cooperacion-impulsa-la-transicion-verde-en-peten/>
- Saura, S. & Torné, J. (2009). Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software*, 24, 135-139.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia [Segeplan]. (09 de junio 2023). *Prioridades nacionales de desarrollo*. Recuperado de <https://pnd.gt/Home/NodosP1>
- Selva Maya (20 de febrero de 2025). *Alternativas sostenibles*. Sitio Selva Maya.
<https://selvamaya.info/actividades/alternativas-sostenibles/>



Informe final de Proyecto de Investigación

- Soille, P. & Vogt, P. (2009). Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognition Letters*, 30(4), 456-459. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.10.015>
- Soille, P. & Vogt, P. (2022). Morphological spatial pattern analysis: open source release. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W1-2022, 427–433, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W1-2022-427-2022>
- SwissContact. (2024). Paisajes mayas sostenibles del Petén. <https://www.swisscontact.org/es/proyectos/paisajes-mayas-sostenibles-del-peten>
- Tang, F., Zhou, X., Wang, L., Zhang, Y., Fu, M., & Zhang, P. (2021). Linking ecosystem service and MSPA to construct landscape ecological network of the Huaiyang section of the grand canal. *Land*, 10(9), 919. <https://doi.org/10.3390/land10090919>
- Todaro, V. (2007). Procesos de integración entre redes ecológicas e instrumentos de planificación. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 54. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2651911.pdf>
- United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre & International Union for the Conservation of Nature. (2025), Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA) [Online], October 2025, Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN. Available at: www.protectedplanet.net.
- United Nations Environment Programme & Convention on Migratory Species. (2014). *Ecological networks: case studies, challenges and lessons learned*. COP 11. Inf.22 https://www.cms.int/sites/default/files/document/Inf_22_Ecological_Network_Case_Studies_E%20only.pdf
- Vielman, I. & Jolón, M. (2010). *Biodiversidad terrestre de Guatemala: análisis de vacíos y estrategias para su conservación*. Serviprensa.
- Vogt, P. (2023). Guidos Toolbox 3.3, revision 0 (64 bits). Recuperado de <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/lpa/gtb/>



Informe final de Proyecto de Investigación

- Wang, D., Ji, X., Jiang, D., & Liu, P. (2022). Importance assessment and conservation strategy for rural landscape patches in Huang-Huai plain based on network robustness analysis. *Ecological Informatics*, 69, 101630. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101630>
- Wildlife Conservation Society. (2024). Paisajes resilientes y biodiversos del norte de Mesoamérica. <https://programs.wcs.org/5greatforests/es-es/Iniciativas/Fondo-de-Paisajes-Biodiversos-BLF>
- Xiao, L., Cui, L., Jiang, Q., Wang, M., Xu, L., & Yan, H. (2020). Spatial structure of a potential ecological network in Nanping, China, based on ecosystem service functions. *Land*, 9(10), 376. <https://doi.org/10.3390/land9100376>
- Zhai, T. & Huang, L. (2022) Linking MSPA and circuit theory to identify the spatial range of ecological networks and its priority areas for conservation and restoration in urban agglomeration. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 828979. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.828979>
- Zhou, D. & Song, W. (2021). Identifying ecological corridors and networks in mountainous areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4797. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094797>
- Zhou, Q., van den Bosch, C., Chen, J., Zhang, W., & Dong, J. (2021). Identification of ecological networks and nodes in Fujian province based on green and blue corridors. *Scientific Reports*, 11(1), 20872. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99416-4>



Informe final de Proyecto de Investigación

17. Apéndice

Apéndice A. Registros de ocurrencia de especies compilados

Tabla A1

Número de registros de ocurrencia de especies de vertebrados recopilados, depurados y procesados para el modelado de distribución potencial de especies seleccionadas

Clase	Especie	Número de registros de ocurrencia
Amphibia	<i>Incilius valliceps</i>	6,747
	<i>Agalychnis callidryas</i>	3,234
	<i>Craugastor loki</i>	1,371
	<i>Tripurion petasatus</i>	632
	<i>Bolitoglossa mexicana</i>	584
	<i>Tlalocohyla loquax</i>	575
	<i>Tlalocohyla picta</i>	561
	<i>Smilisca cyanosticta</i>	343
	<i>Eleutherodactylus leprus</i>	287
	<i>Gastrophryne elegans</i>	190
	<i>Atlantihyla panchoi</i>	54
	<i>Bolitoglossa mulleri</i>	41
	Aves	<i>Ramphastos sulfuratus</i>
<i>Penelope purpurascens</i>		37,172
<i>Amazona farinosa</i>		23,771
<i>Tinamus major</i>		23,557
<i>Cyanocorax yucatanicus</i>		13,296
<i>Crypturellus cinnamomeus</i>		6,665
<i>Lophornis helenae</i>		6,230
<i>Formicarius moniliger</i>		6,207
<i>Melanoptila glabrirostris</i>		5,443
<i>Meleagris ocellata</i>		5,176
<i>Myiarchus yucatanensis</i>		2,523
<i>Lanio aurantius</i>		2,355
<i>Electron carinatum</i>		1,529
<i>Nyctiphrynus yucatanicus</i>		820
<i>Morphnus guianensis</i>		124
Mammalia	<i>Ateles geoffroyi</i>	3,020
	<i>Perimyotis subflavus</i>	2,050
	<i>Philander opossum</i>	1,500
	<i>Sciurus yucatanensis</i>	1,280



Informe final de Proyecto de Investigación

	<i>Heteromys gaumeri</i>	1,279
	<i>Peromyscus yucatanicus</i>	976
	<i>Balantiopteryx io</i>	964
	<i>Tapirella bairdii</i>	910
	<i>Mazama pandora</i>	416
	<i>Alouatta pigra</i>	401
	<i>Cryptotis mayensis</i>	233
	<i>Lamproncycteris brachyotis</i>	173
	<i>Otonyctomys hatti</i>	110
	<i>Phylloderma stenops</i>	96
	<i>Myotis elegans</i>	83
	<i>Cabassous centralis</i>	75
	<i>Vampyrum spectrum</i>	65
	<i>Tonatia saurophila</i>	63
	<i>Bauerus dubiaquercus</i>	61
	<i>Lophostoma evotis</i>	40
Squamata	<i>Holcosus undulatus</i>	5,518
	<i>Leptophis ahaetulla</i>	1,592
	<i>Sceloporus chrysostictus</i>	1,583
	<i>Leptophis mexicanus</i>	1,306
	<i>Drymarchon melanurus</i>	1,150
	<i>Senticolis triaspis</i>	923
	<i>Aspidoscelis angusticeps</i>	917
	<i>Sphaerodactylus glaucus</i>	813
	<i>Lepidophyma flavimaculatum</i>	800
	<i>Sceloporus serrifer</i>	706
	<i>Micrurus diastema</i>	666
	<i>Corytophanes hernandesii</i>	659
	<i>Sceloporus lundelli</i>	237
	<i>Ficimia publia</i>	226
	<i>Plestiodon sumichrasti</i>	211
	<i>Symphimus mayae</i>	166
	<i>Crotalus tzabcan</i>	165
	<i>Mesoscincus schwartzei</i>	120
	<i>Aspidoscelis maslini</i>	64
	<i>Cachryx defensor</i>	58
	<i>Agkistrodon russeolus</i>	54
	<i>Lepidophyma mayae</i>	53
	<i>Anolis beckeri</i>	50
	<i>Amerotyphlops microstomus</i>	40
	<i>Tantilla cuniculator</i>	20
Total general		260,504



Informe final de Proyecto de Investigación


Apéndice B. Parámetros para elaboración de tabla de resistencia

Temática	Clasificaciones
Caminos	Calles en áreas urbanas No pavimentado dos o más vías No pavimentado una vía No pavimentado, Tiempo bueno o seco Pavimentado Pavimentado dos o más vías Rodera Sendero
Uso del suelo y cobertura ESRI 2024 (Karra et al., 2021)	Agua/ Water Arboles/ Trees Inundable / Flooded vegetation Cultivos/ Crops Urbano/ Built area Suelo/ Bare ground Nubes/ Clouds Campos/ Rangeland
Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP)	Biotopo protegido Parque nacional Parque regional municipal Reserva de biosfera Reserva natural privada Zona de amortiguamiento Zona de uso múltiple RBM
Pendiente (grados)	0-27 27-75



Informe final de Proyecto de Investigación
Apéndice C Licencia de investigación otorgada por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas

Forma LI


CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS
CONAP
PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA
GUATEMALA, C. A.

No. 00035 -C

LICENCIA DE INVESTIGACIÓN

No. DRP05-2025

Nombre: MANOLO JOSE GARCÍA VETTORAZZI No. Reg. I-004-2007

Nacionalidad: guatemalteco Identificación: 2617505770101

Institución: _____

Si existe contrato administrativo que ampara esta Licencia, especificar referencia: _____

Título de la Investigación: Redes ecológicas para la conectividad en la
Reserva de la Biosfera Maya: Vinculando desarrollo socioeconómico
y conservación de la biodiversidad

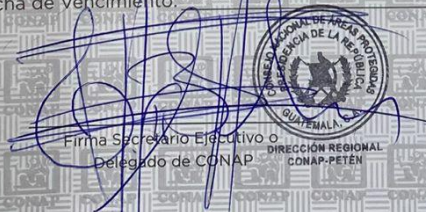

Institución nacional que avala la investigación: _____

Nombre e identificación de otros investigadores participantes:

1. Mynor André Sandoval Lemus; I-DRP-032-2025
2. Ammi María Rodríguez Castellanos; I-DRP-034-2025
3. Roberto Sebastián Siliezar López; I-DRP-031-2025
4. _____
5. _____

Fecha de Emisión: San Benito Petén, 29/09/2025

Fecha de Vencimiento: San Benito, Petén 31/03/2026

Firma Secretario Ejecutivo o Delegado de CONAP DIRECCIÓN REGIONAL CONAP-PETÉN

Firma de Recibido

Informe final de Proyecto de Investigación
Apéndice D Resultados generales del modelado de distribución potencial de especies seleccionadas

Especie	Registros únicos	Modelo	Número de variables	Multiplicador de regularización	Área bajo la curva (AUC)	Variables con mayor influencia (%)
Clase Amphibia						
<i>Bolitoglossa mexicana</i>	134	LQ	18	0.5	0.795	Bio15(24.7%), Bio19(14.2%), Bio4(7.5%), Bio5(6.3%)
<i>Gastrophryne elegans</i>	54	H	2	5.5	0.604	Bio19 (68%), Bio5 (12%). Bio19 (41.2%), Bio6 (14.9%), Bio14 (13.4%), Bio15 (12.1%), Bio2 (7.5%)
<i>Tlalocohyla loquax</i>	132	LQH	12	4.5	0.811	Bio15(17.3%), Bio17 (11.6%), Bio4 (9.3%), Bio2 (9.2%), Bio 19 (8.7%)
<i>Tlalocohyla picta</i>	99	LQ	18	0.5	0.838	Bio12(48.8%), Bio16(11.2%), Bio14(8.6%), Bio3(6%)
<i>Triprion petasatus</i>	133	LQ	16	0.5	0.802	Bio12(34.6%), Bio13(29.9%), Bio8(16%)
<i>Agkistrodon russeolus</i>	48	L	6	4.5	0.69	
Clase Reptilia						
<i>Amerotyphlops microstomus</i>	13	H	2	4.5	0.749	Bio3 (45.8%), Bio6 (22.2%) Bio15(38.6%), Bio14(16.7%), Bio5(15.5%), Bio8(10.5%)
<i>Anolis beckeri</i>	34	LQ	8	1.5	0.81	Bio8(28.7%), Bio15(20.3%), Bio12(9.2%), Bio1(8.9%)
<i>Leptophis mexicanus</i>	535	LQ	19	0.5	0.832	Bio7 (33.5%), Bio8 (30.2%), Bio12 (27.8%), Bio 15 (6%)
<i>Mesoscincus schwartzei</i>	53	L	6	7.5	0.77	
Clase Aves						
<i>Formicarius moniliger</i>	287	LQH	12	3.5	0.828	Bio5 (33.2%), Bio14(19.3%), Bio8(16.3%), Bio15(11.3%), Bio18(8.1%)

Informe final de Proyecto de Investigación

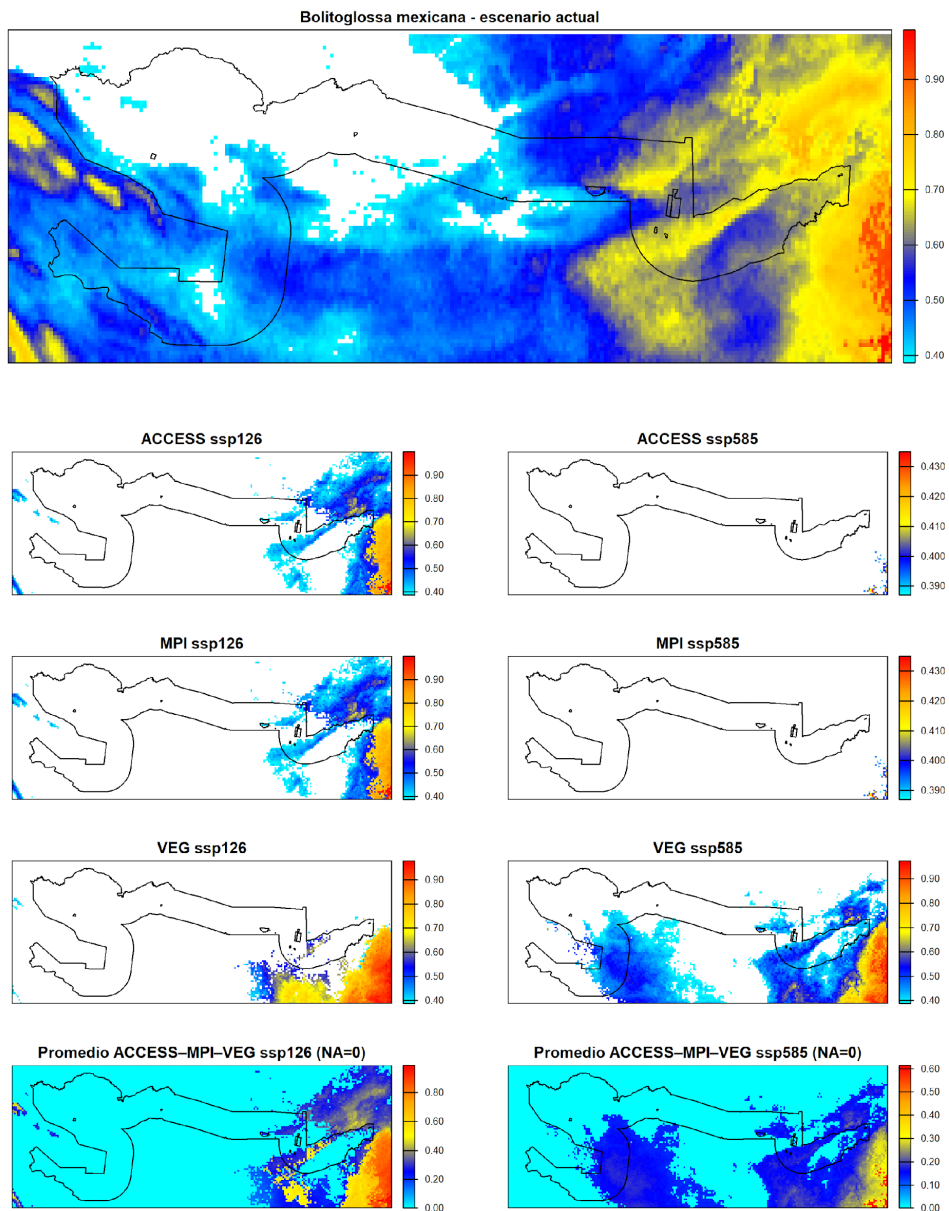
Especie	Registros únicos	Modelo	Número de variables	Multiplicador de regularización	Área bajo la curva (AUC)	Variables con mayor influencia (%)
<i>Melagris occellata</i>	385	LQHP	18	1.5	0.872	Bio13(25.3%), Bio9(21.6%), Bio3(11.3%), Bio5(9.2%), Bio11(4.3%)
<i>Myiarchus yucatanensis</i>	375	L	14	0.5	0.747	Bio13(43.3%), Bio3(14.1%), Bio5(12.1%), Bio8(7.2%), Bio15(6.7%)
<i>Nyctiphrynus yucatanicus</i>	69	LQ	14	1.5	8.23	Bio15(38.9%), Bio3(14.1%), Bio8(10%), Bio6(7.8%), Bio2(5.2%)
Clase Mammalia						
<i>Alouatta pigra</i>	111	LQ	13	1.5	0.75	Bio9(36%), Bio10(14.6%), Bio19(14.3%), Bio15(8.5%) Bio4(47.9%), Bio8(9.9%), Bio19(9.1%), Bio4(8.8%), Bio15(8.8%)
<i>Ateles geoffroyi</i>	154	L	7	3.4	0.689	Bio14 (50%), Bio18 (14.6%), Bio4 (14%), Bio8 (11.6%), Bio13 (9.9%)
<i>Balantiopteryx io</i>	32	L	6	1.5	0.83	Bio17 (35.7%), Bio8 (31.6%), Bio7 (15.2%), Bio12 (14.4%), Bio11 (2.7%)
<i>Bauerus dibuaquercus</i>	28	H	8	2.5	0.735	Bio19 (37.5%), Bio8 (24%), Bio11 (20.9%), Bio3 (7.4%), Bio4 (6%)
<i>Odocoileus pandora</i>	96	LQHP	12	5.5	0.87	Bio7 (38.6%), Bio18 (16%), Bio12 (11.2%), Bio8 (6.9), Bio(6.2)
<i>Peromyscus yucatanicus</i>	101	LQ	12	2.5	0.697	Bio4 (41.5%), Bio3 (22.7%), Bio5 (17.7%), Bio2 (5.6%), Bio8 (4.6%)
<i>Tapirus bairdii</i>	112	LQHP	12	7.5	0.871	

Informe final de Proyecto de Investigación

Apéndice E Resultados del modelado de distribución potencial por especie

Figura E1

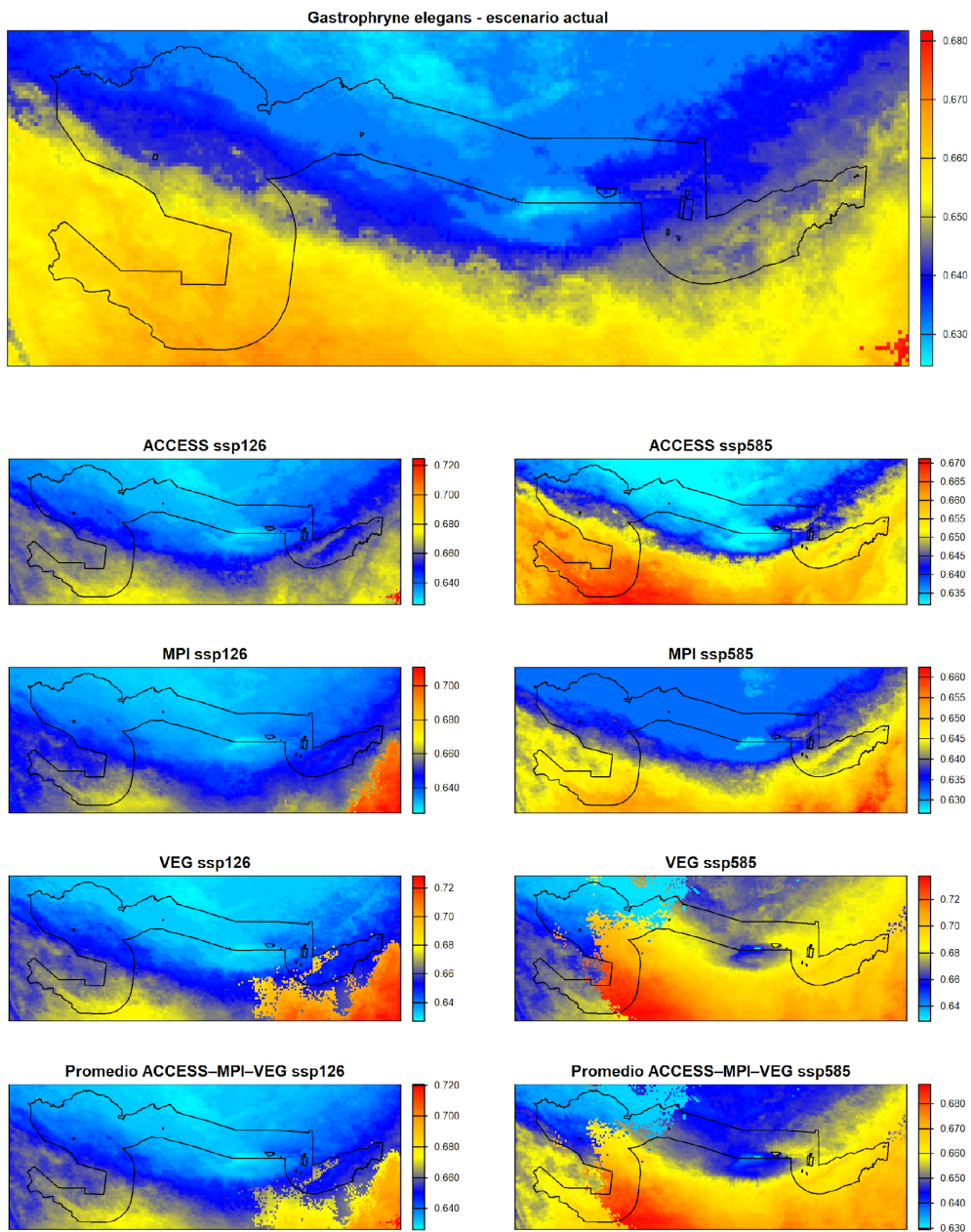
*Distribución potencial para **Bolitoglossa mexicana** (Amphibia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E2

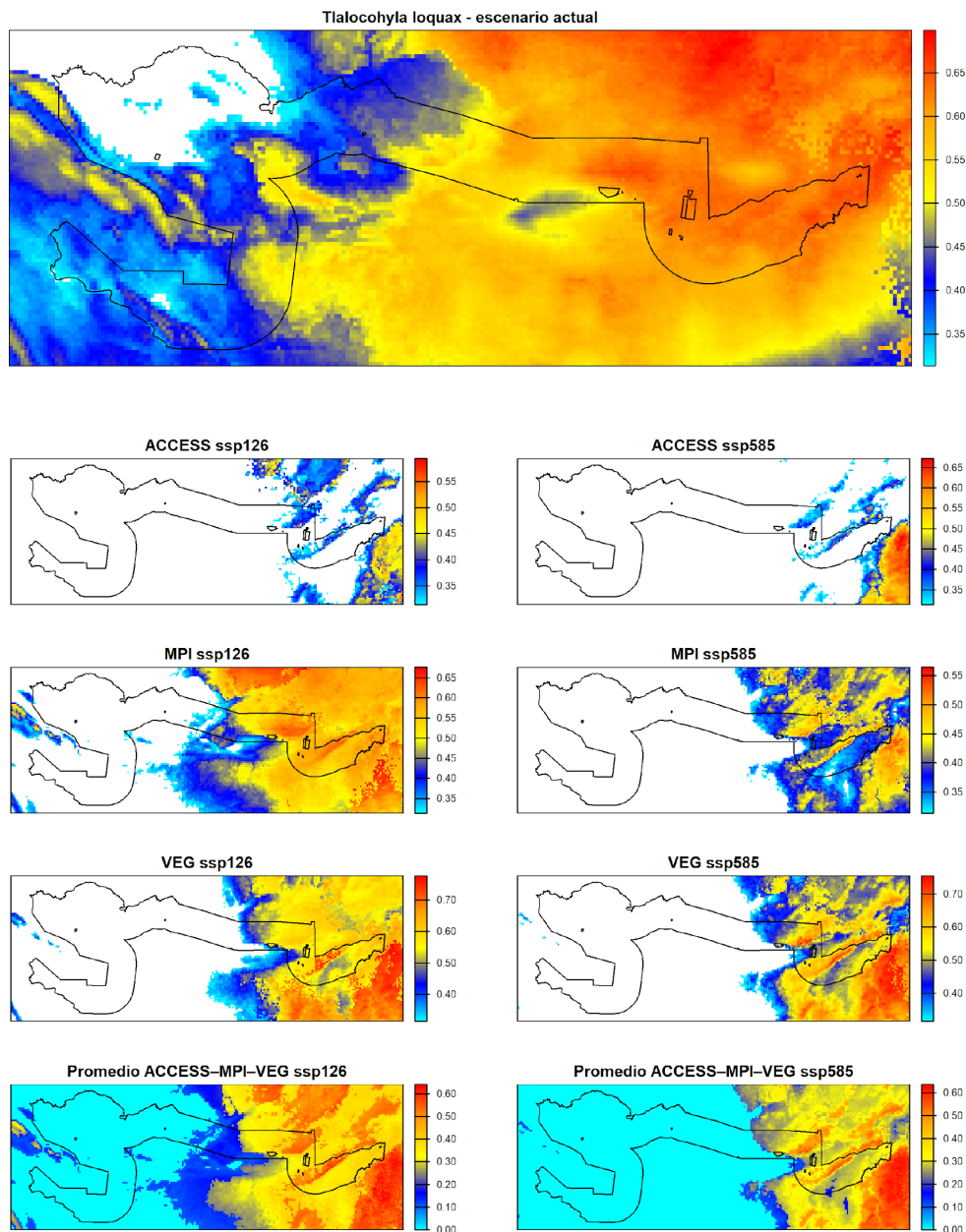
*Distribución potencial para *Gastrophryne elegans* (Amphibia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E3

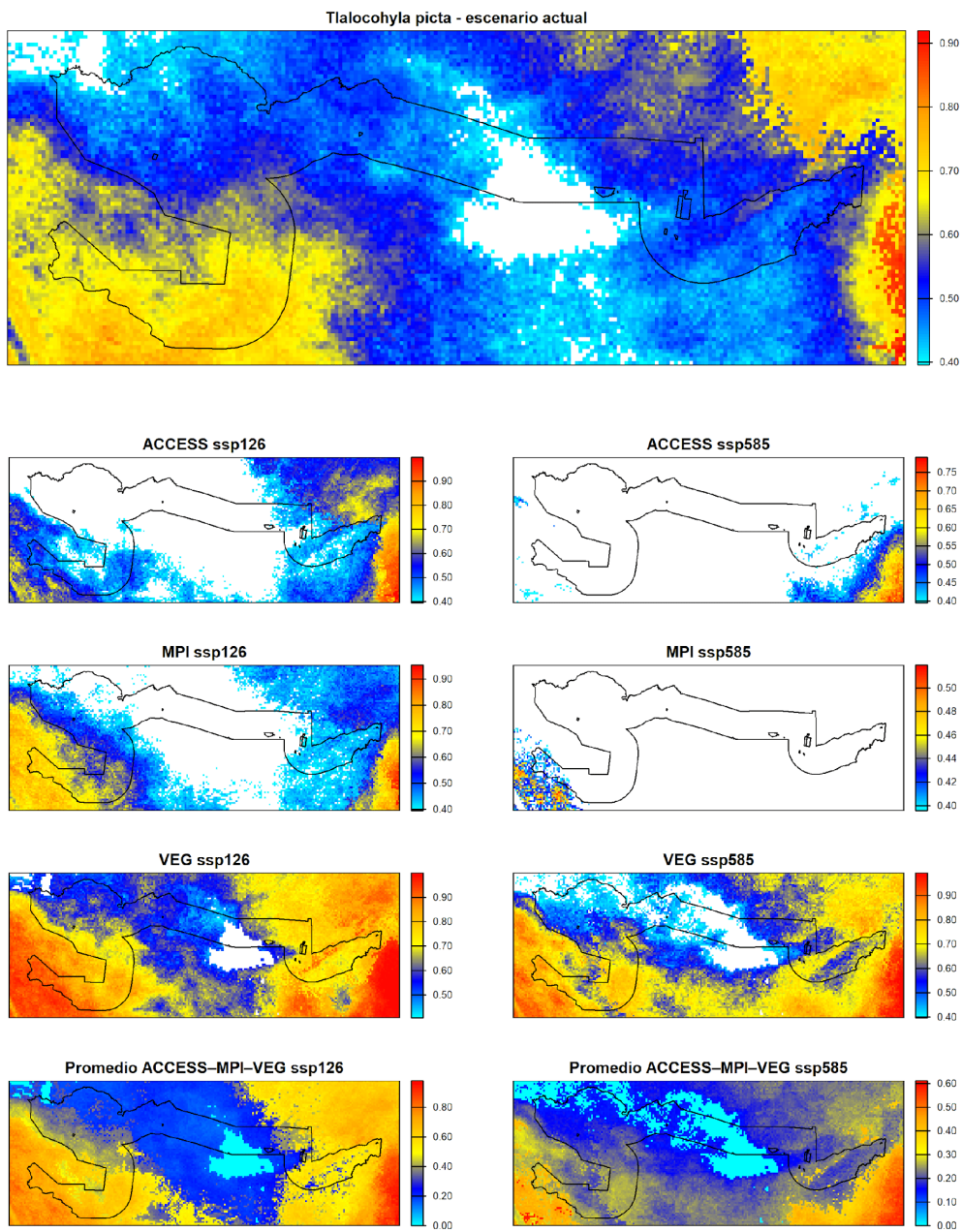
*Distribución potencial para *Tlalocohyla loquax* (Amphibia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E4

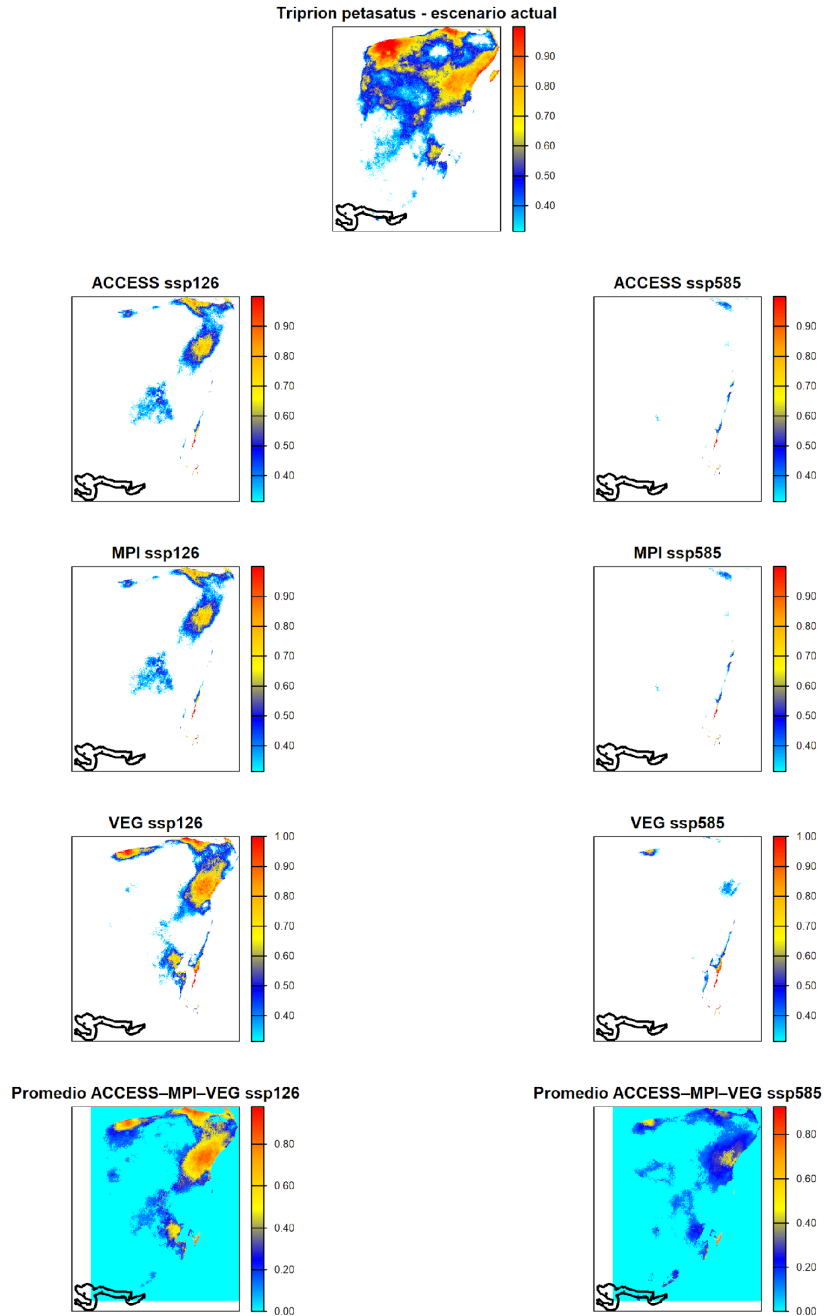
*Distribución potencial para *Tlalocohyla picta* (Amphibia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E5

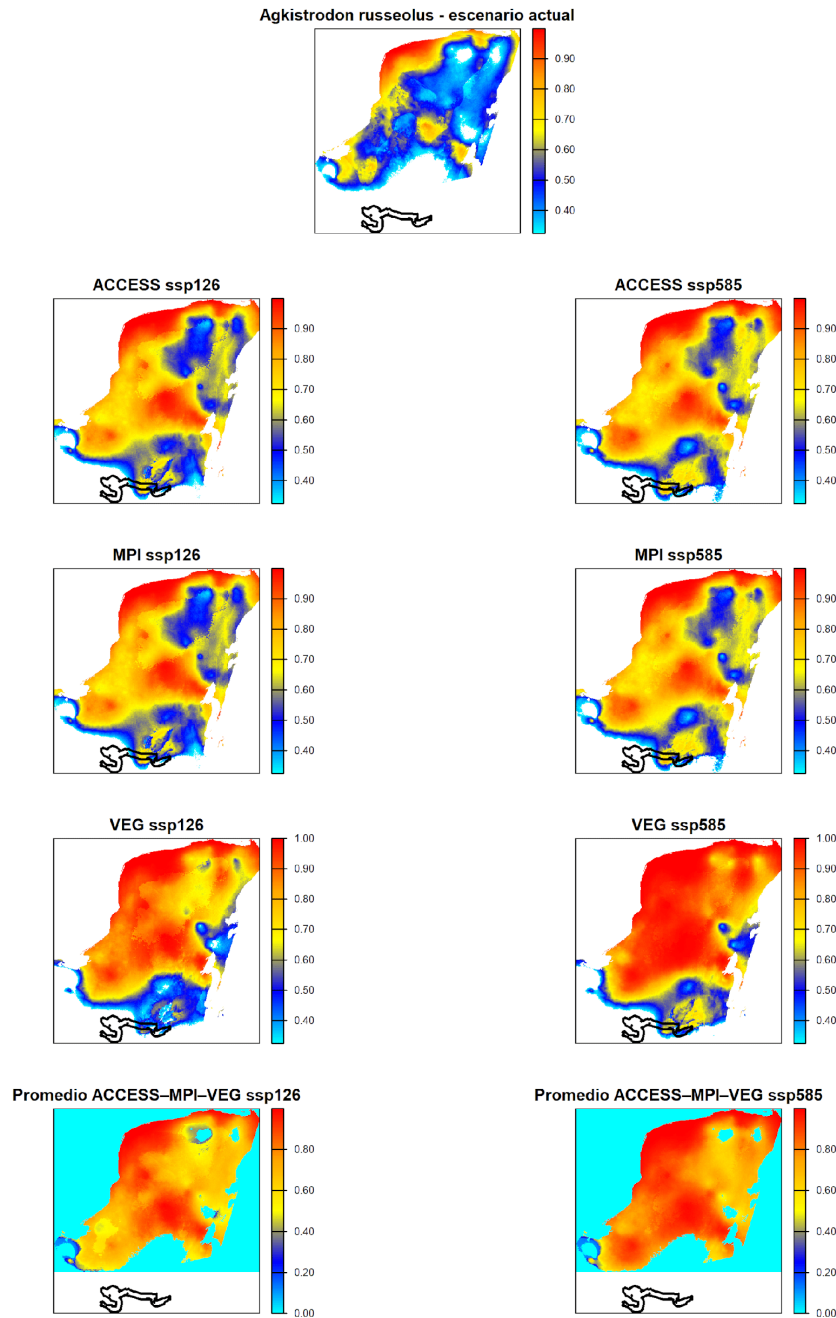
*Distribución potencial para *Tripurion petasatus* (Amphibia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E6

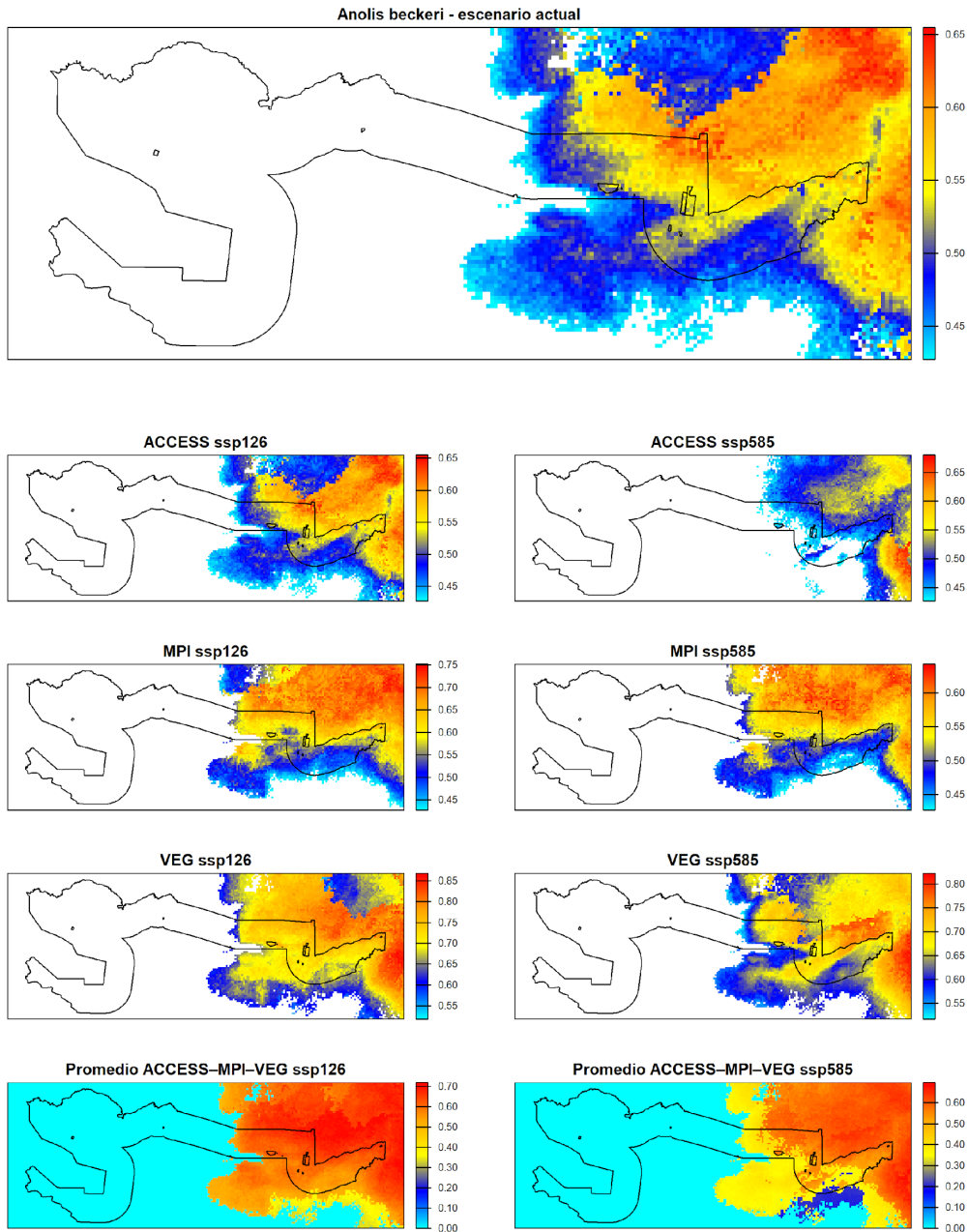
Distribución potencial para Agkistrodon russeolus (Reptilia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E8

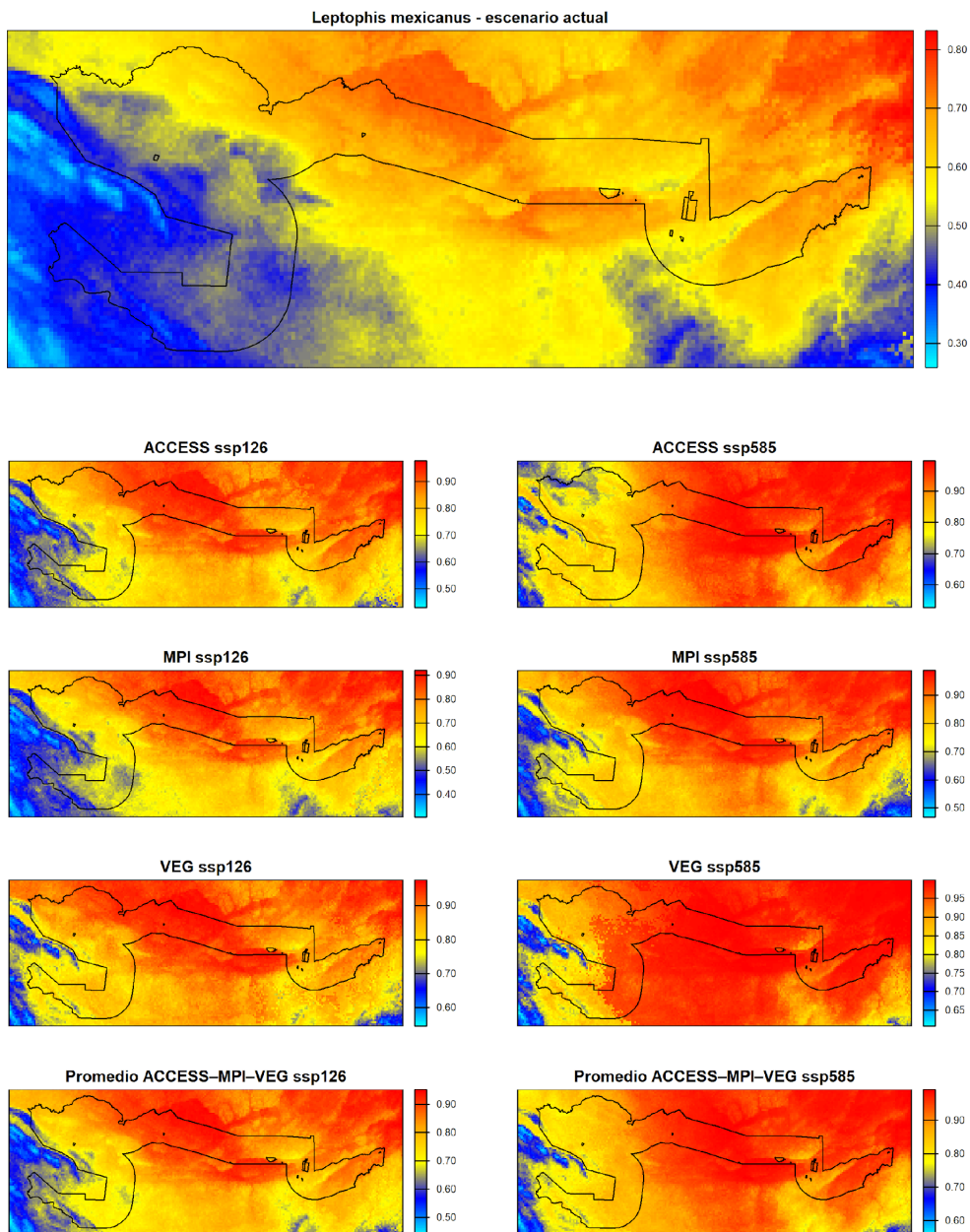
Distribución potencial para Anolis beckeri (Reptilia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E9

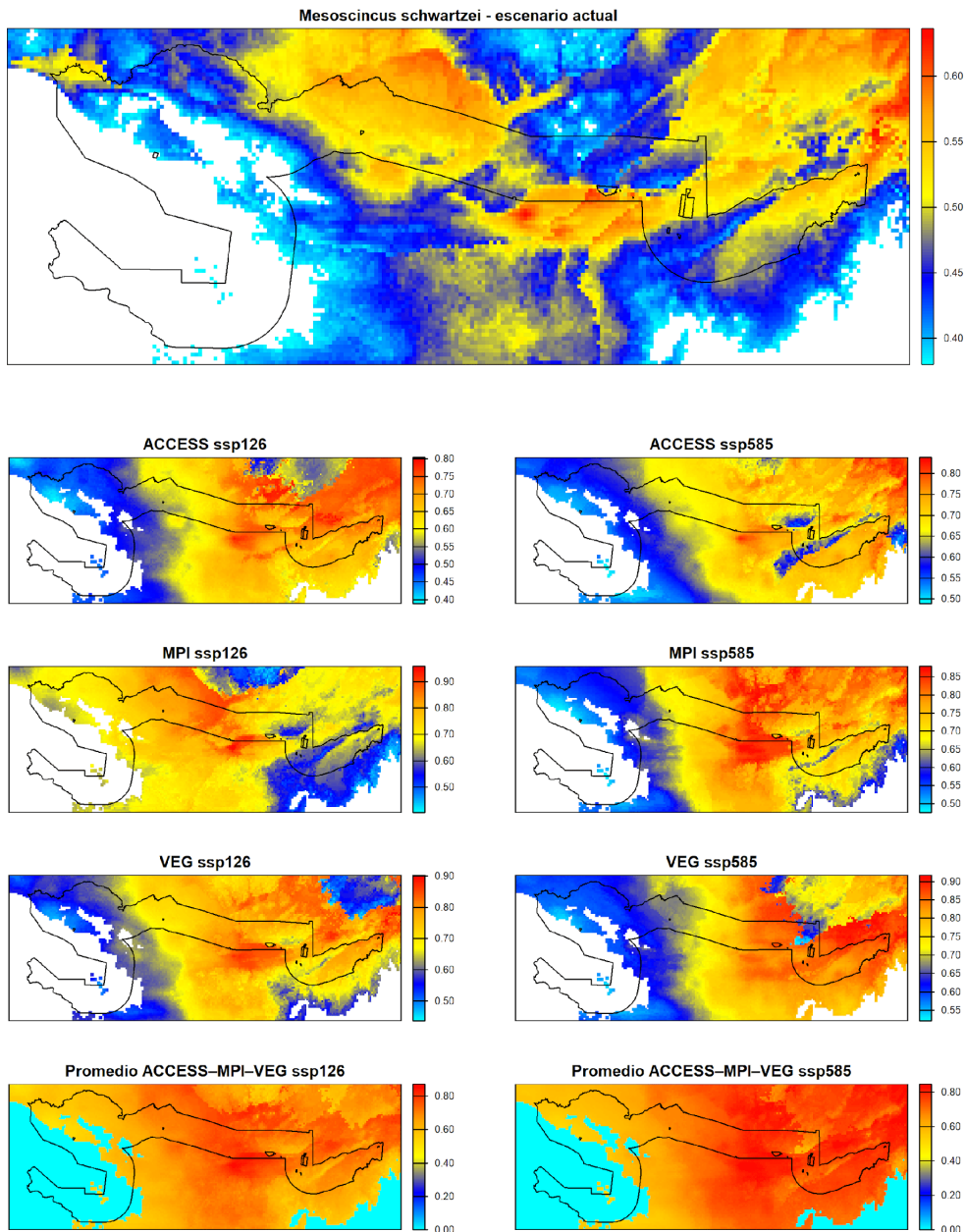
*Distribución potencial para **Leptophis mexicanus** (Reptilia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E10

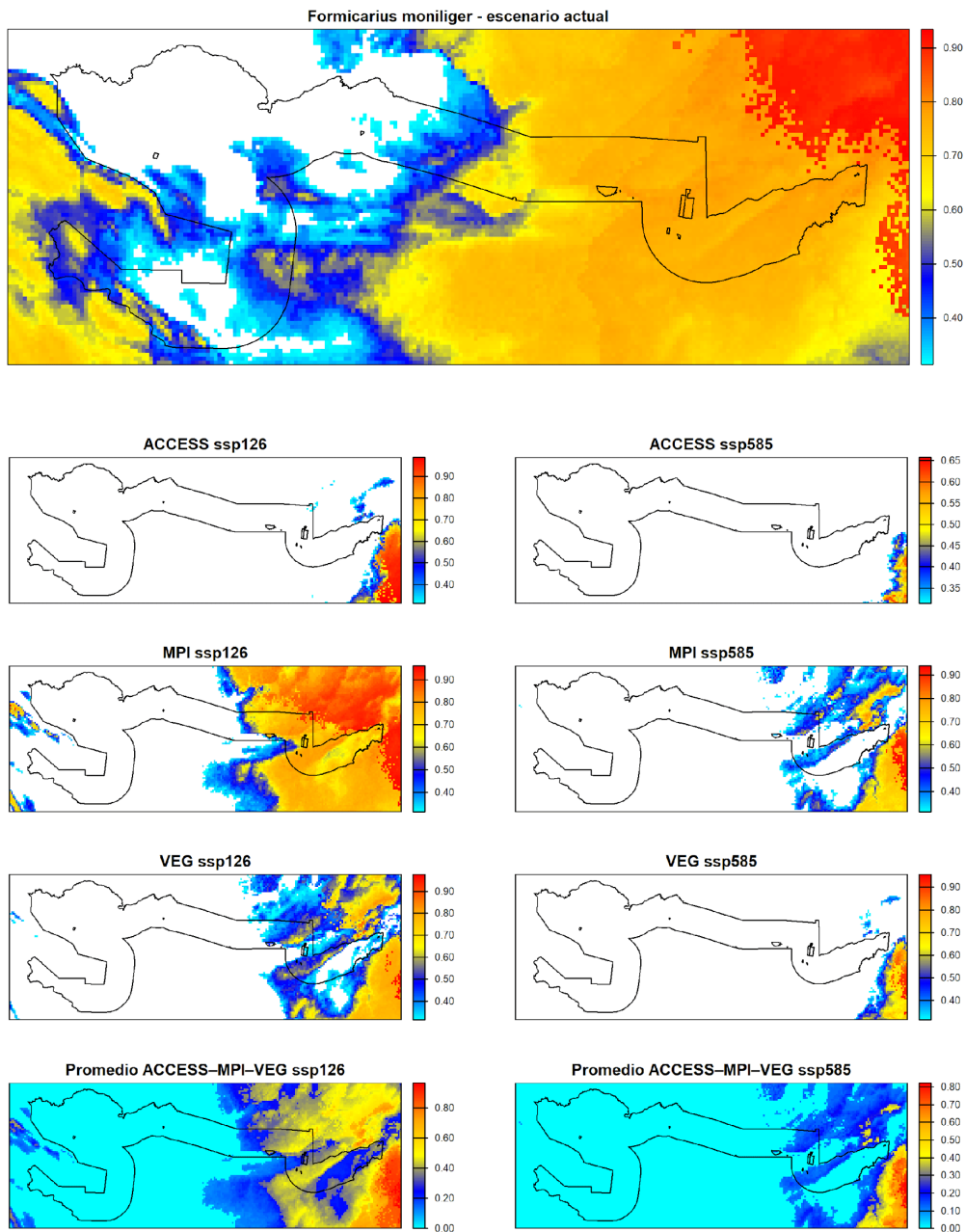
Distribución potencial para Mesoscincus schwartzei (Reptilia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E11

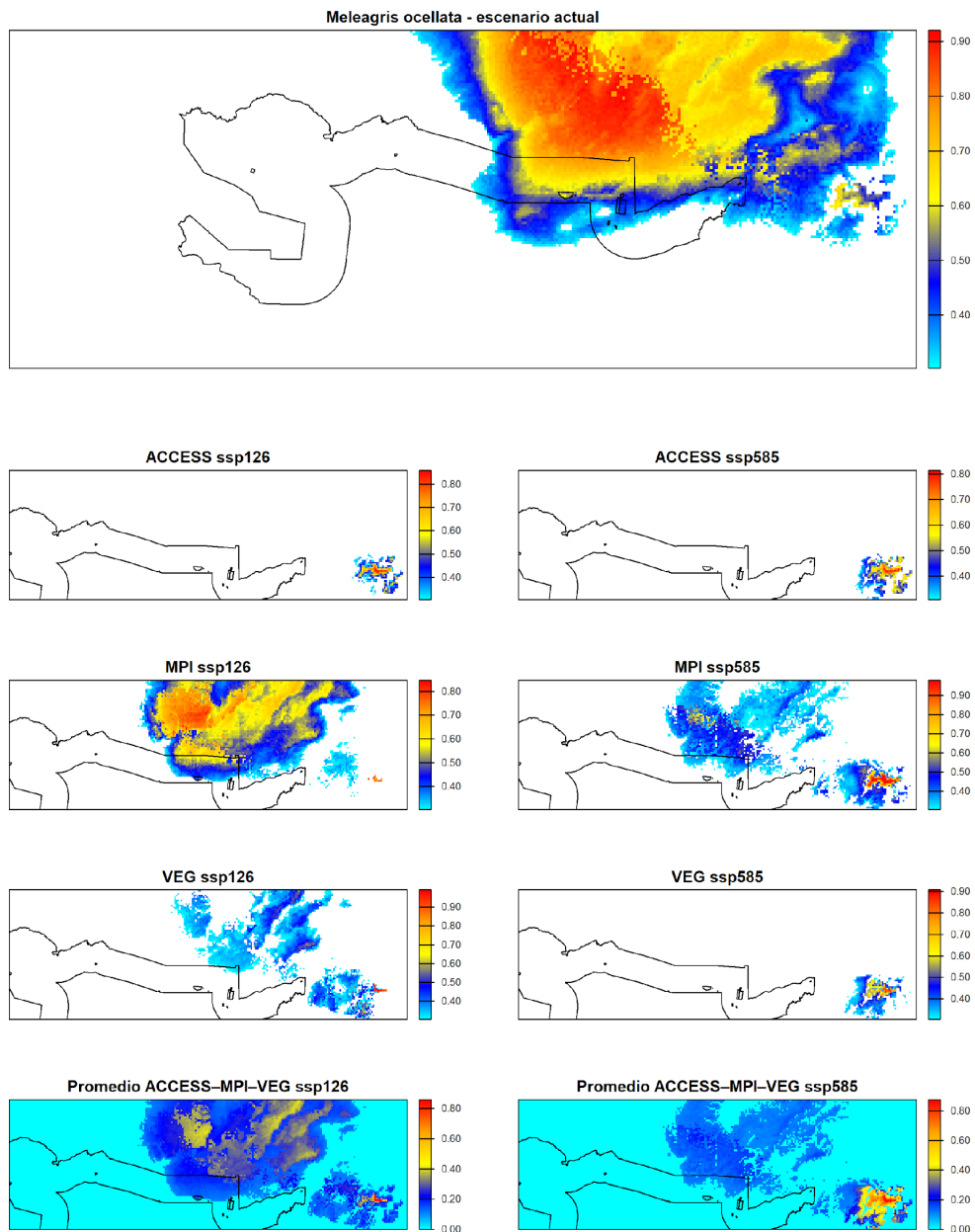
Distribución potencial para Formicarius moniliger (Aves) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E12

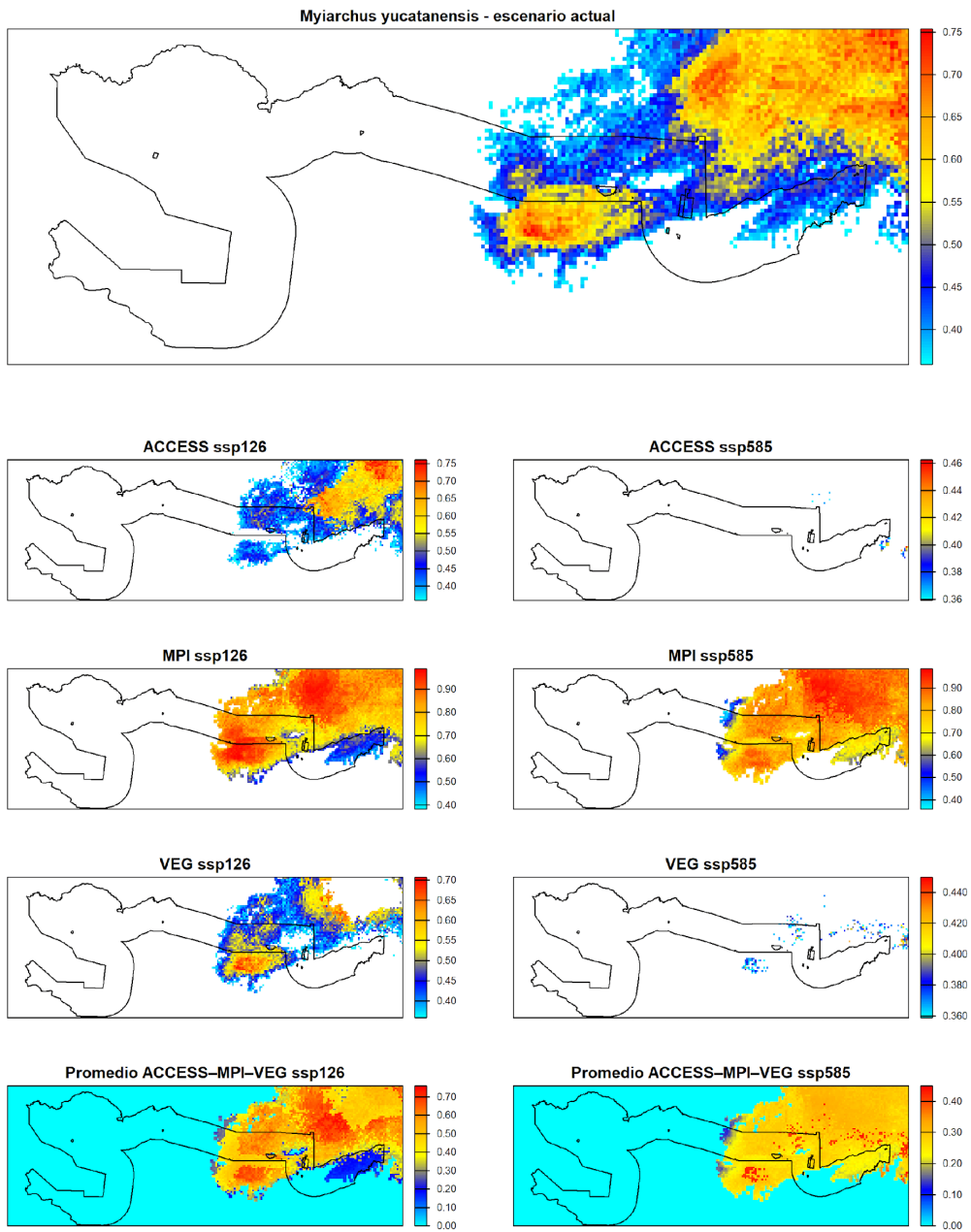
*Distribución potencial para **Melagrís ocellata** (Aves) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E13

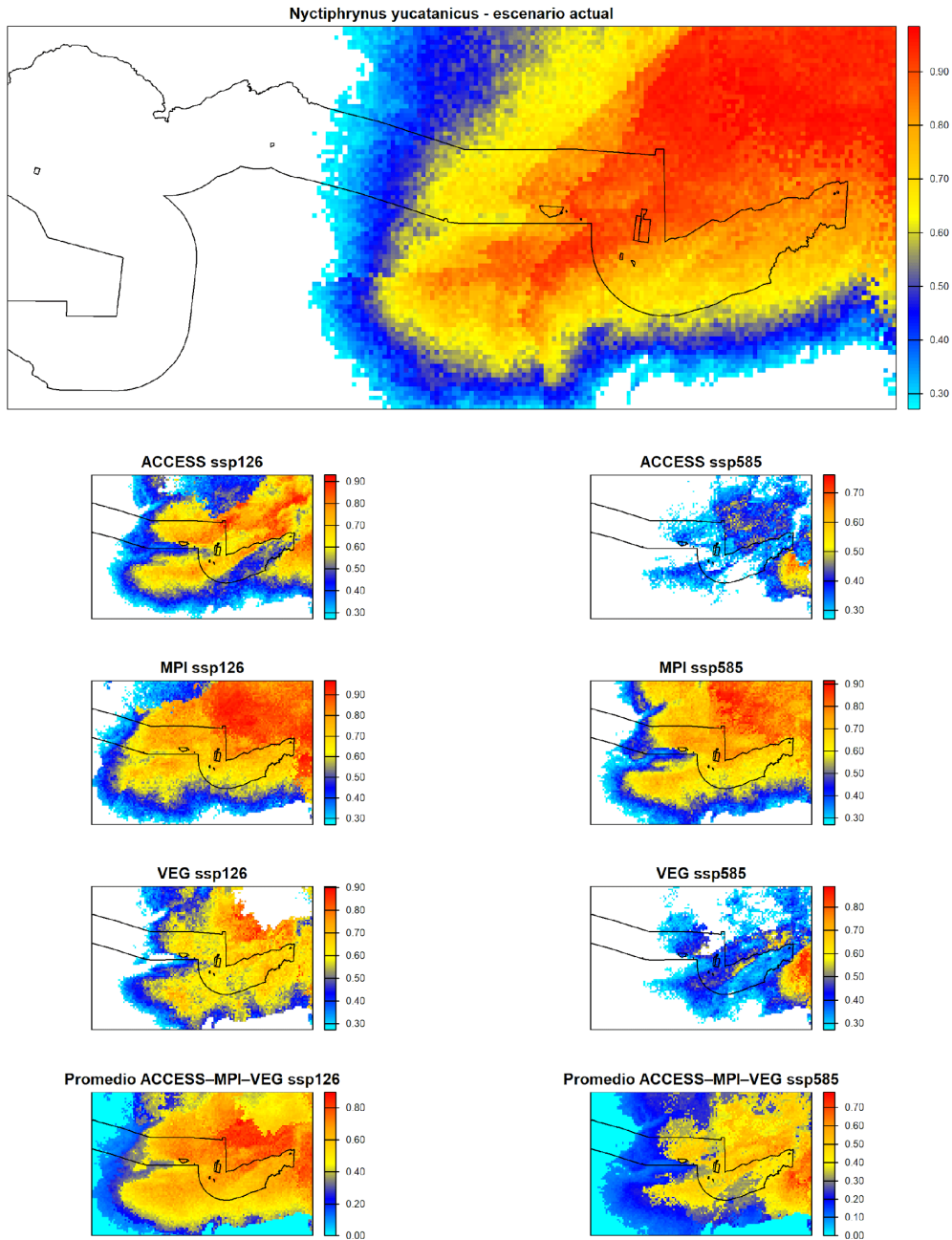
*Distribución potencial para *Myiarchus yucatanensis* (Aves) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E14

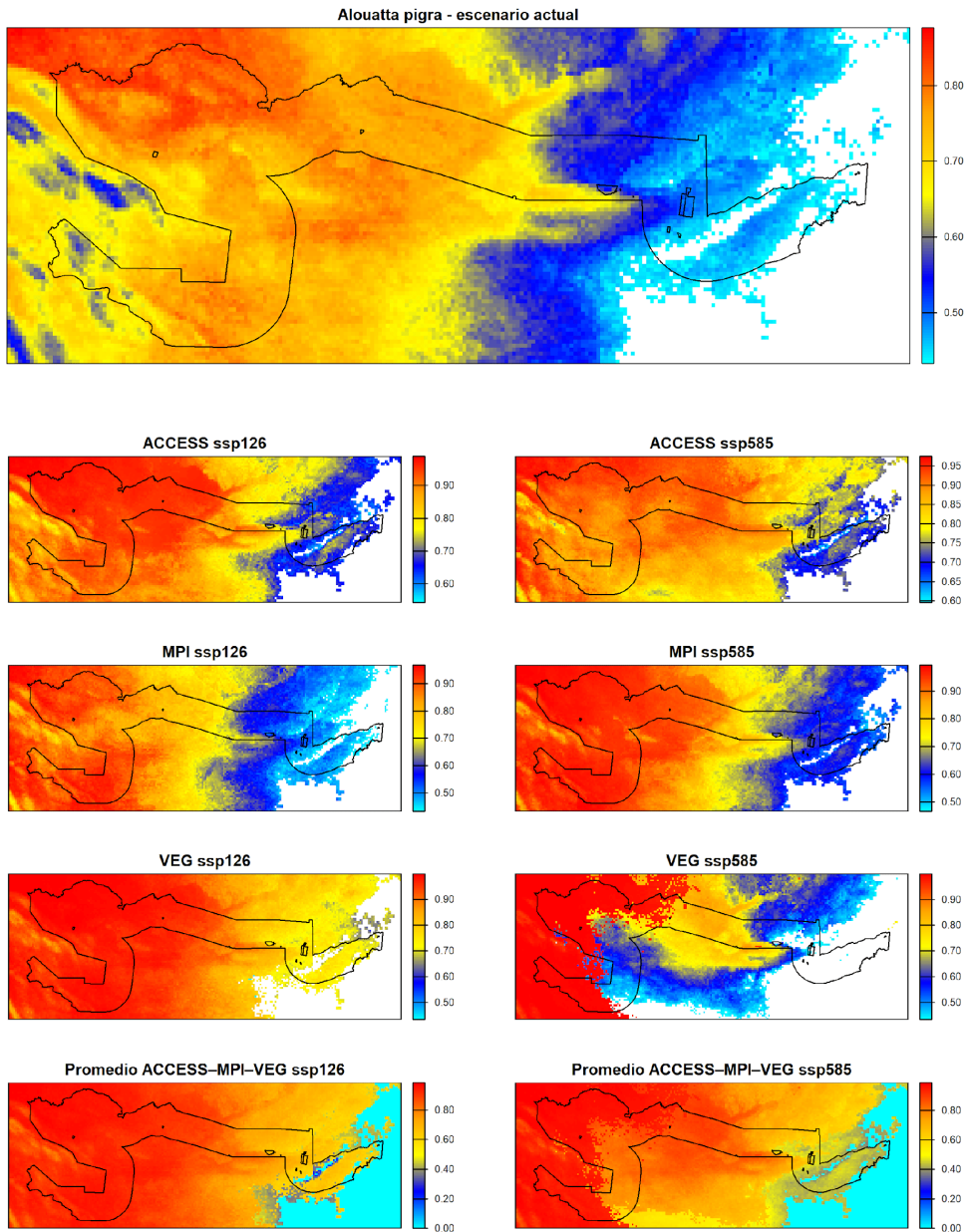
*Distribución potencial para *Nyctiphrynus yucatanicus* (Aves) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E15

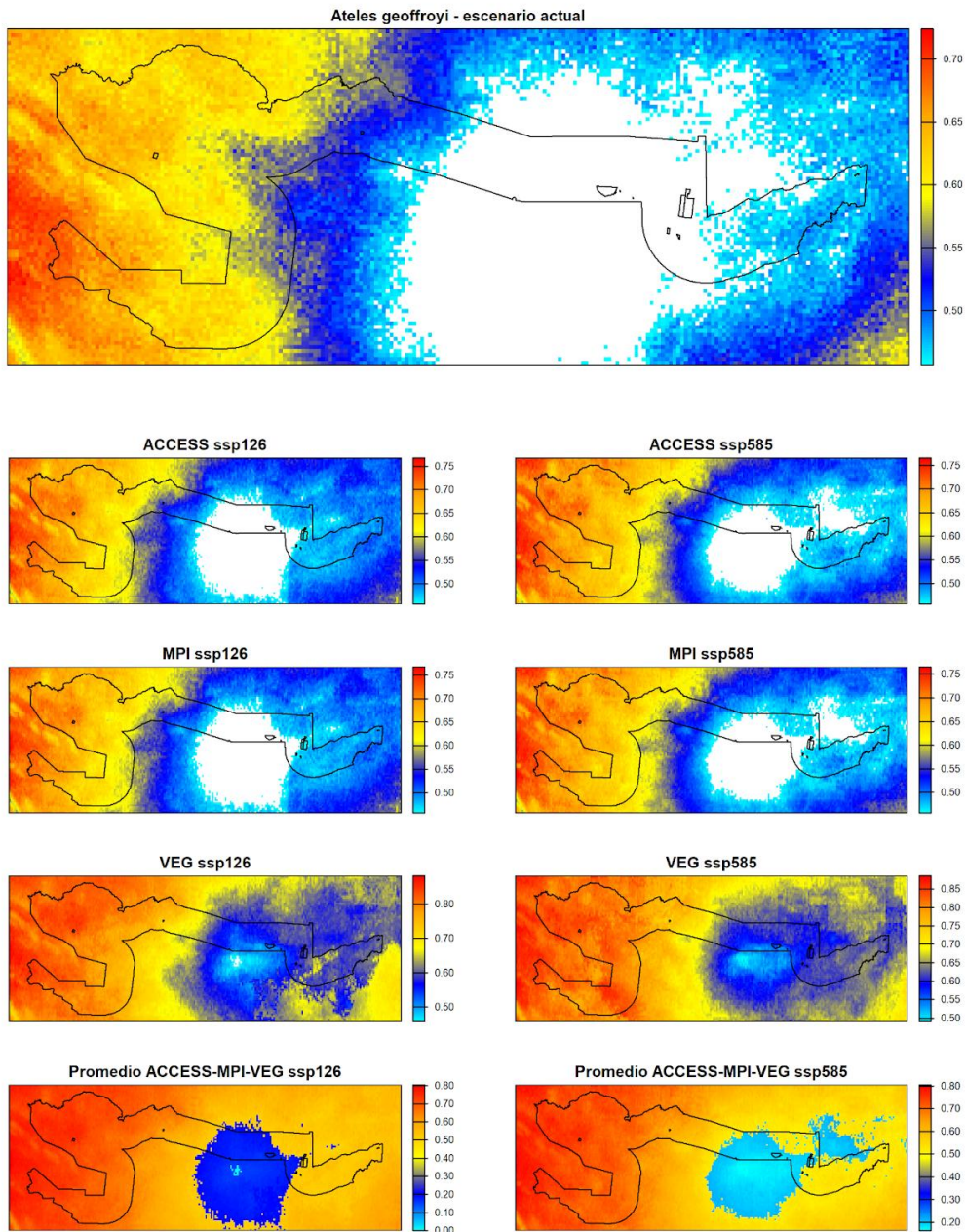
*Distribución potencial para *Alouatta pigra* (Mammalia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E16

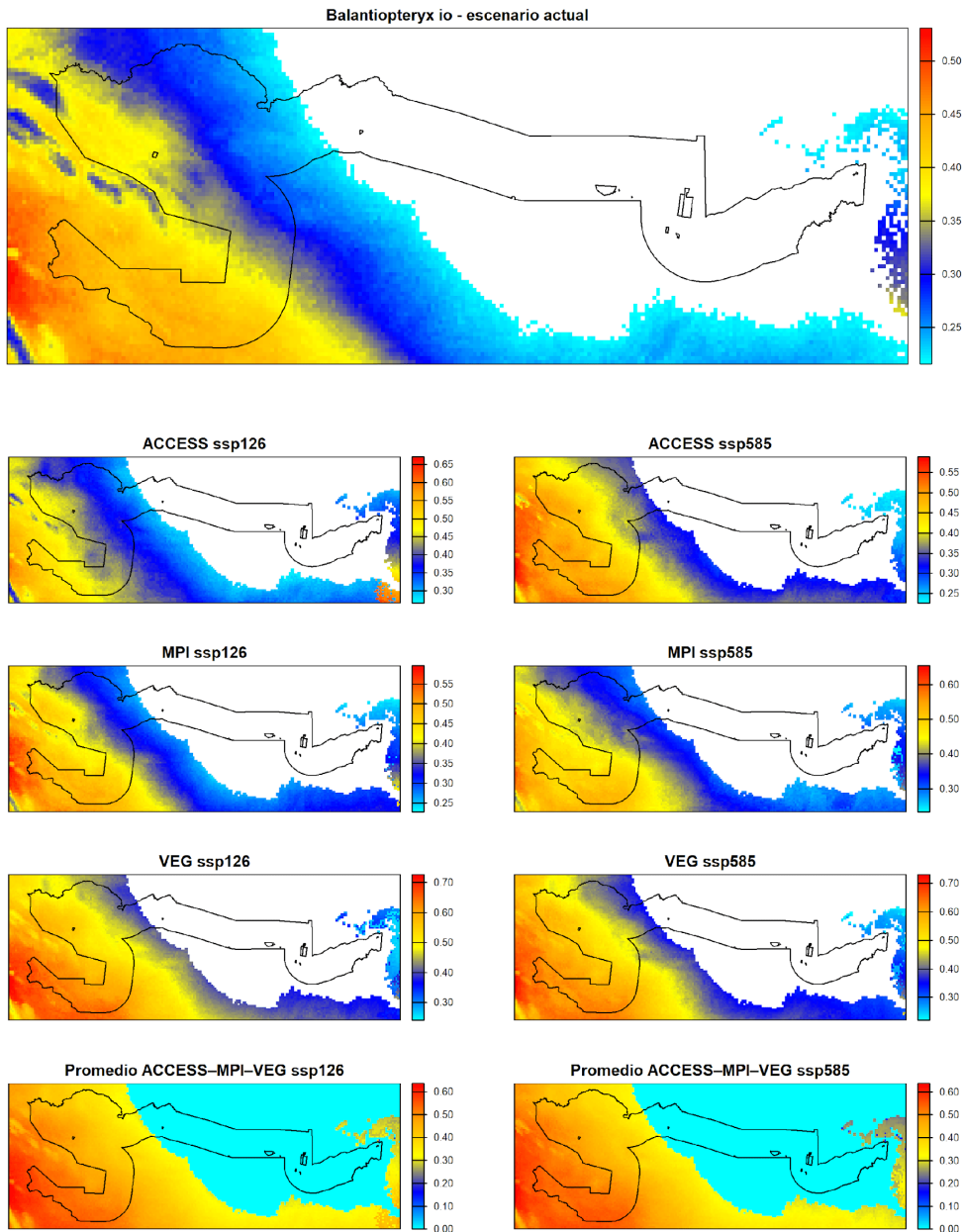
Distribución potencial para Ateles geoffroyi (Mammalia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E17

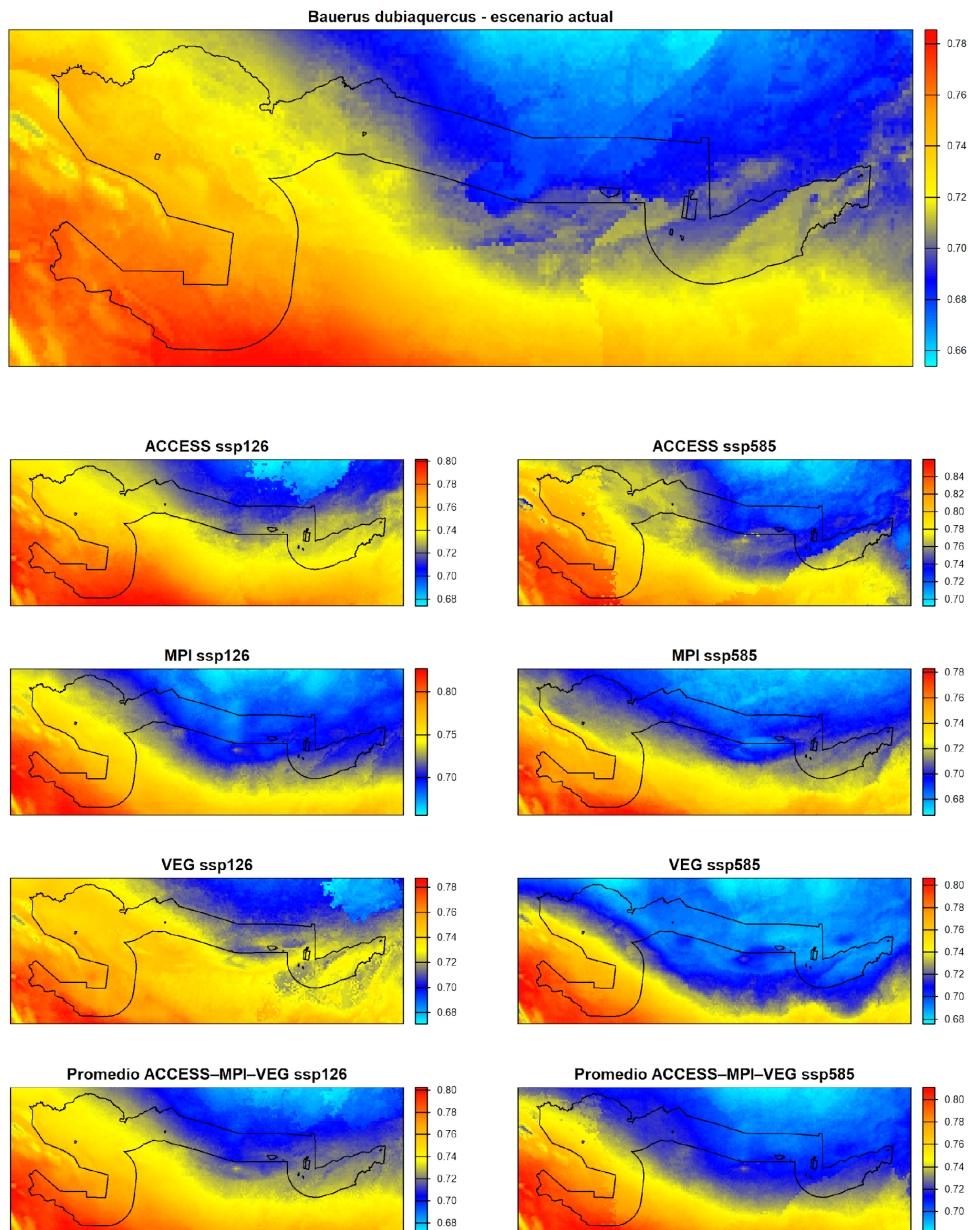
*Distribución potencial para **Balantiopteryx io** (Mammalia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E18

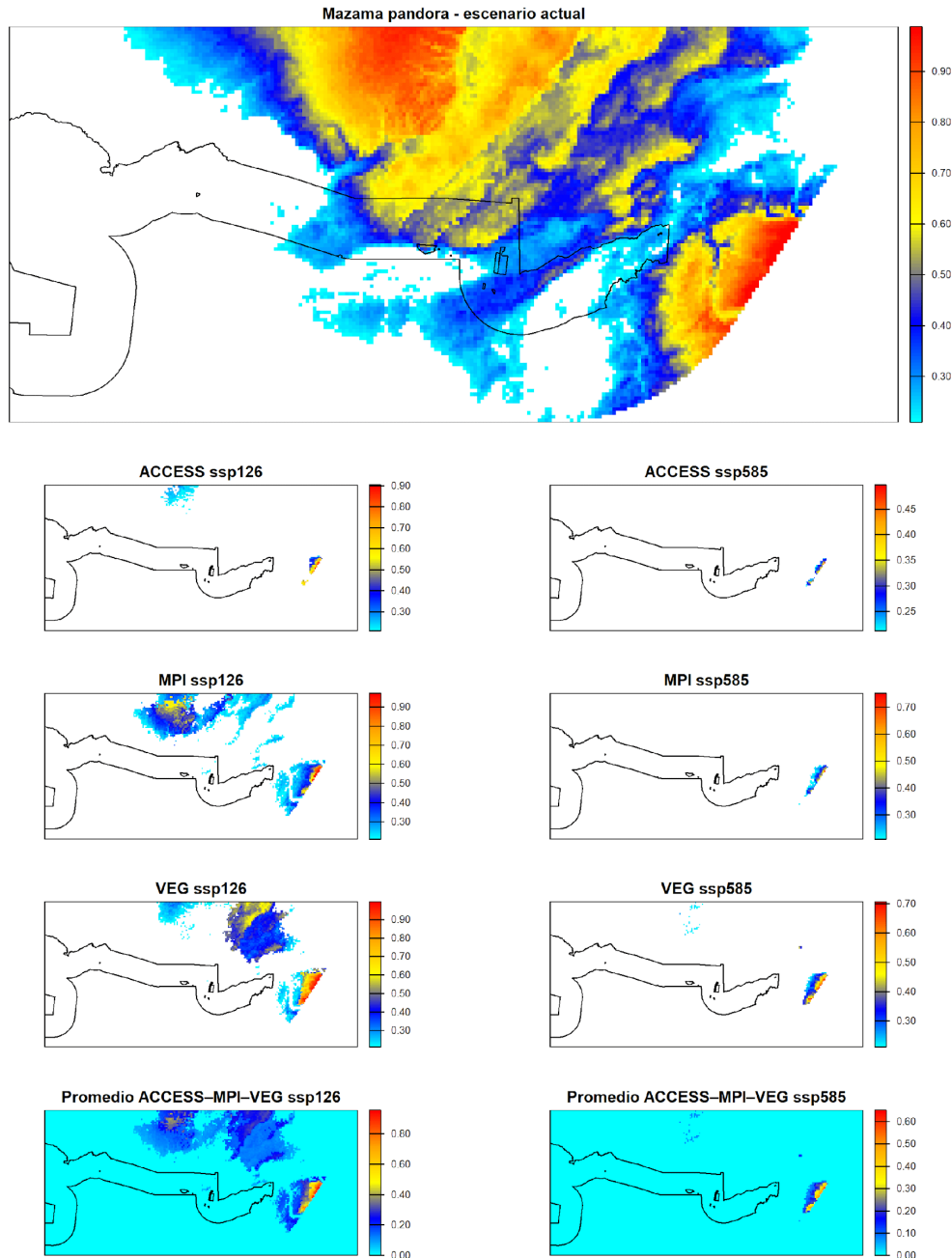
*Distribución potencial para *Bauerus dubiaquercus* (Mammalia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E19

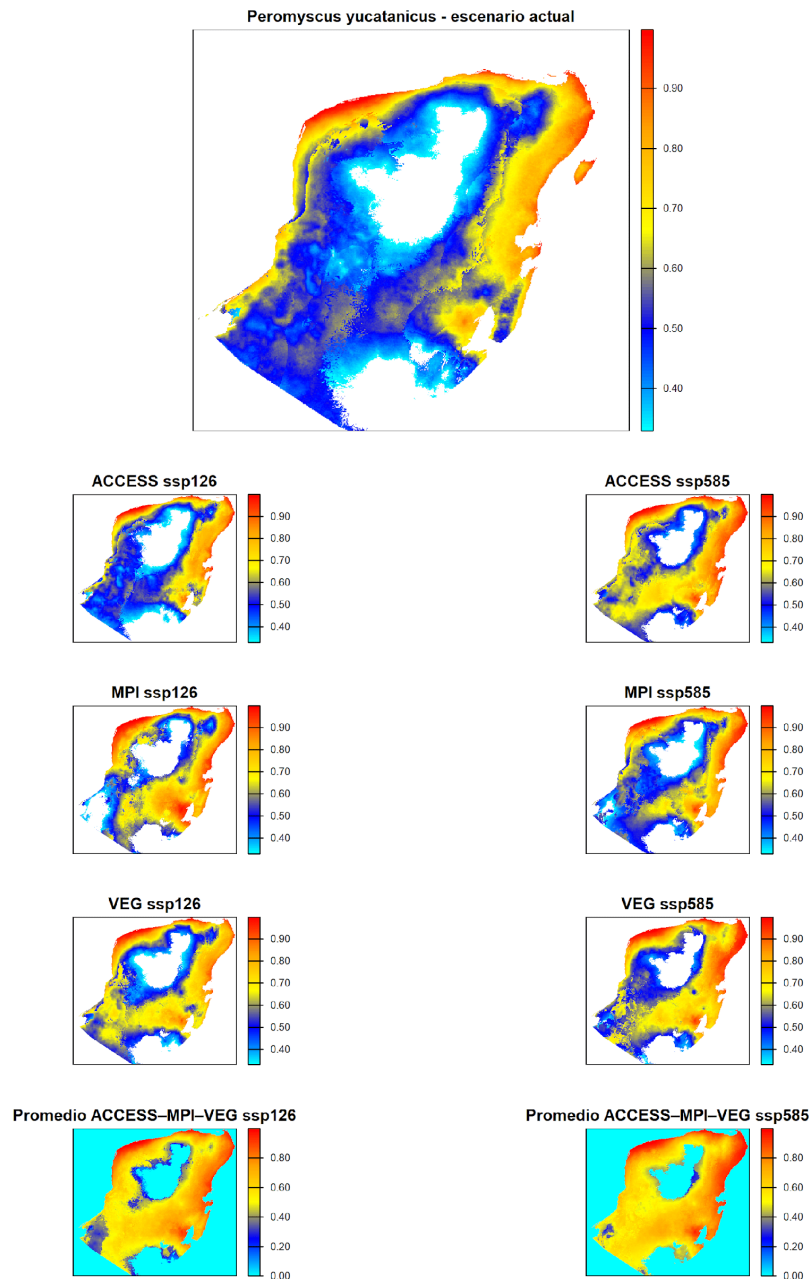
*Distribución potencial para *Odocoileus pandora* (Mammalia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E20

*Distribución potencial para *Peromyscus yucatanicus* (Mammalia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)*



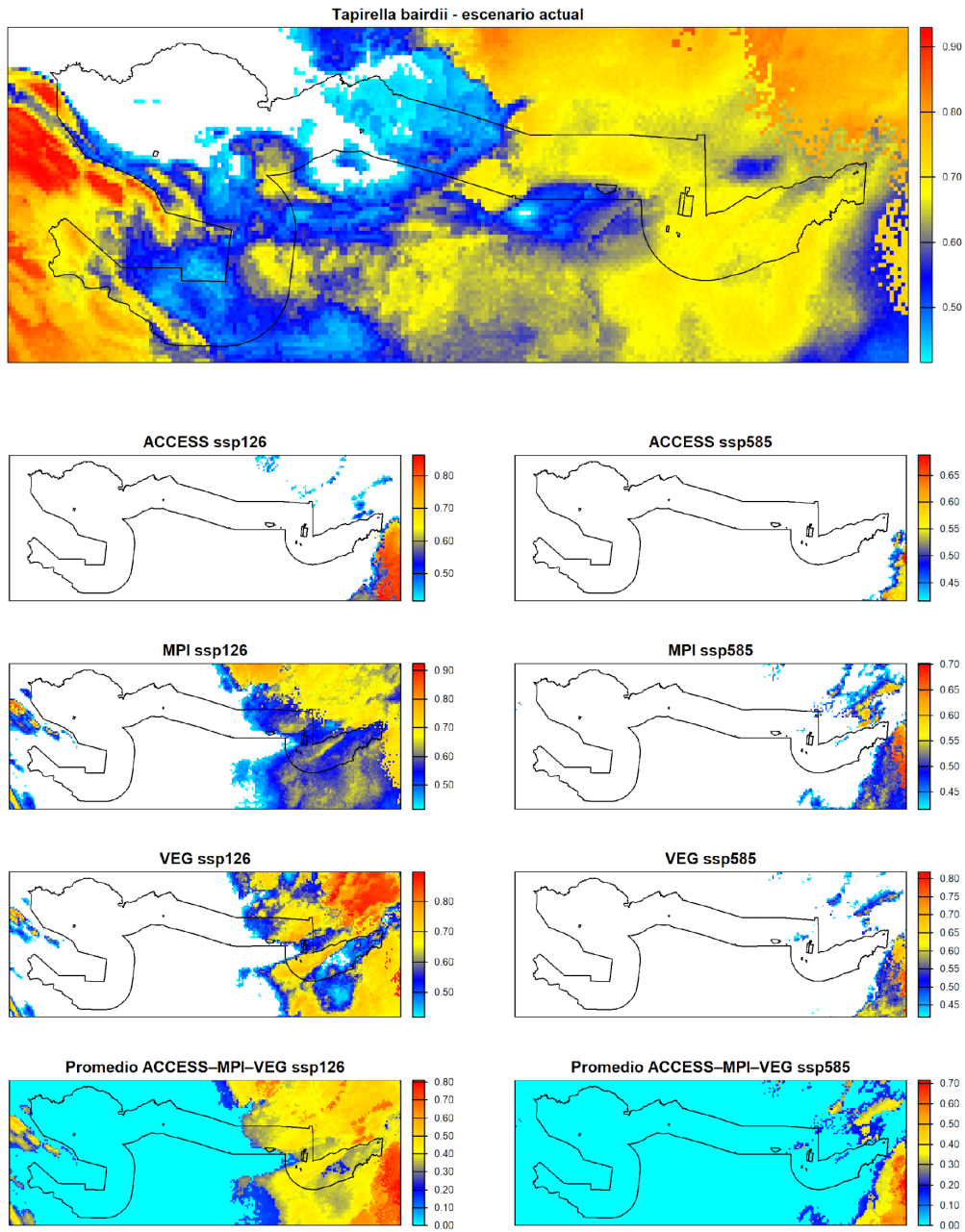


Informe final de Proyecto de Investigación

Figura E21

Distribución potencial para Tapirus bairdii (Mammalia) en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya en el escenario actual (1970-2000) y proyecciones a futuro (2041-2060)

Informe final de Proyecto de Investigación



Apéndice F Resultados de análisis de conectividad basado en la teoría de gráficos

Figura F1

Informe final de Proyecto de Investigación

Diferencial del índice integral de conectividad para redes ecológicas en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para una especie con movilidad de un kilómetro fuera de su hábitat

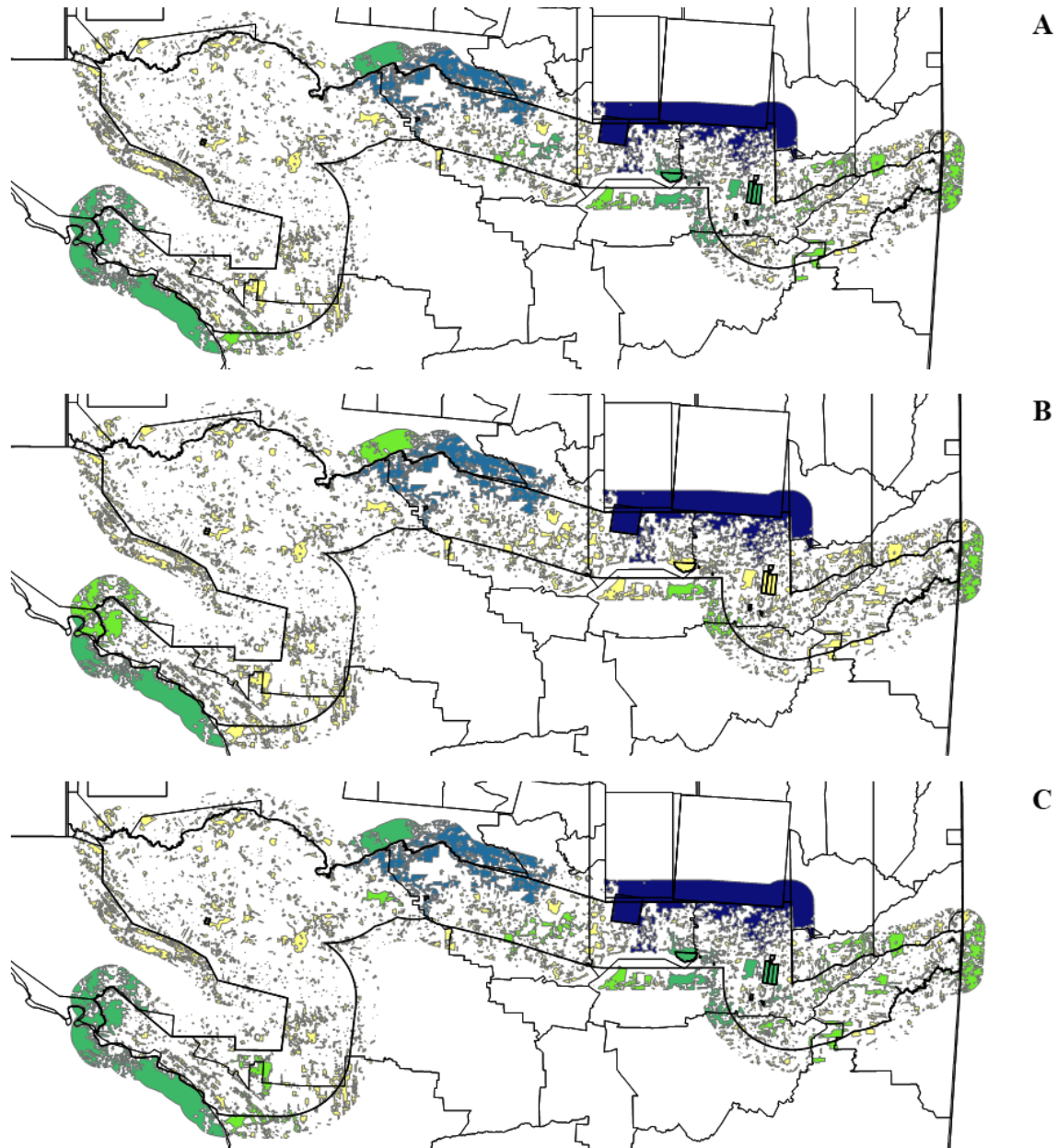
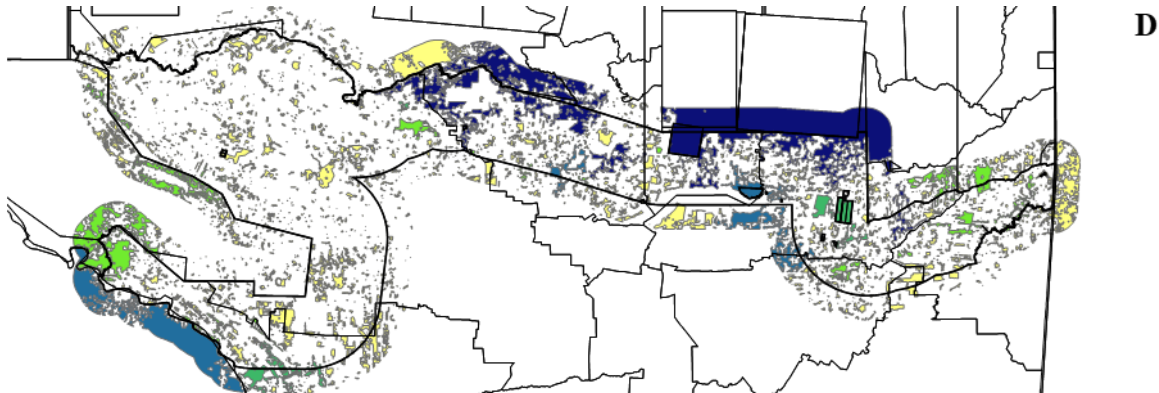


Figura F1 (continuación)

Informe final de Proyecto de Investigación

Diferencial del índice integral de conectividad para redes ecológicas en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para una especie con movilidad de un kilómetro fuera de su hábitat

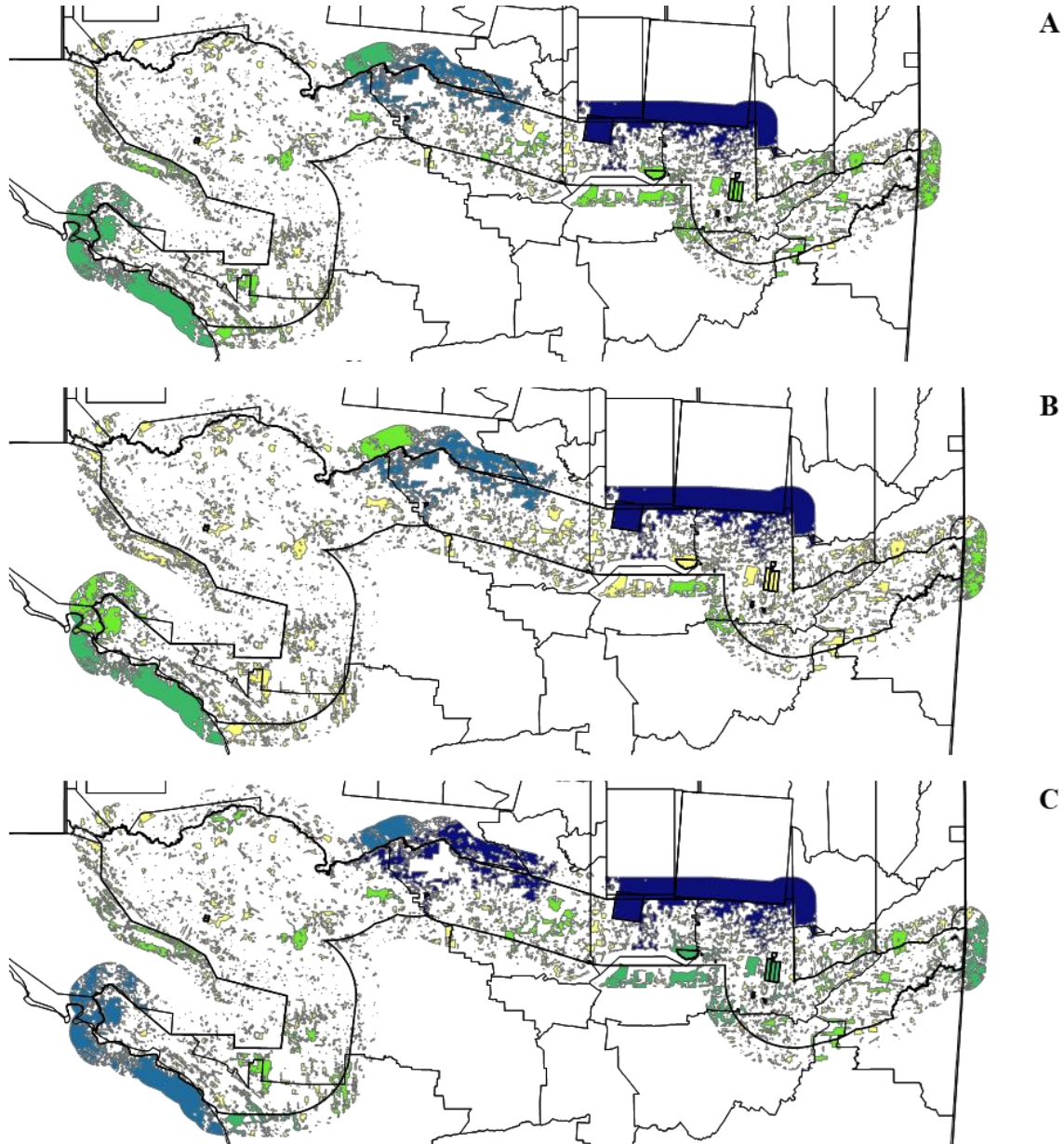


Nota. A) Diferencial de índice integral de conectividad, B) Componente de conectividad interna, C) Componente de flujo y D) Componente como conector. Los valores se muestran de los más bajos (color amarillo) a los más altos (color azul oscuro).

Figura F2

Informe final de Proyecto de Investigación

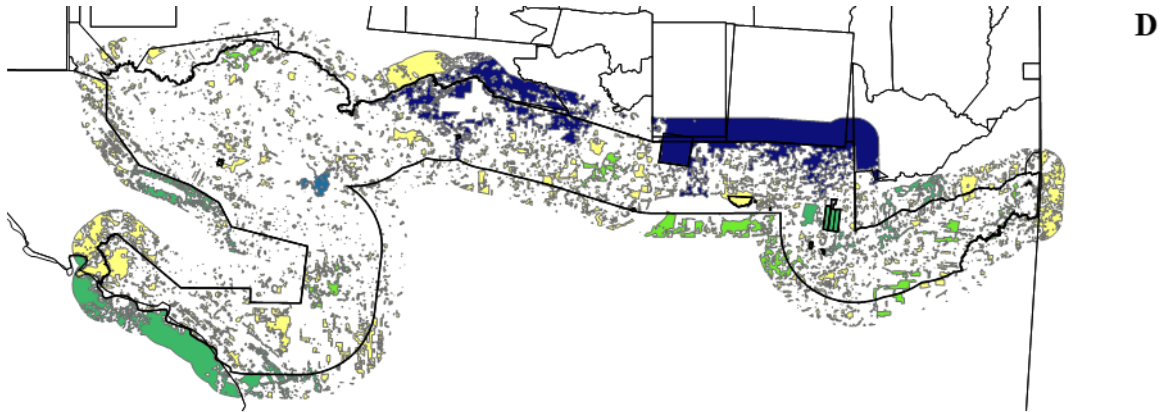
Diferencial del índice integral de conectividad para redes ecológicas en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para una especie con movilidad de cinco kilómetros fuera de su hábitat



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura F2 (Continuación)

Diferencial del índice integral de conectividad para redes ecológicas en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para una especie con movilidad de cinco kilómetros fuera de su hábitat

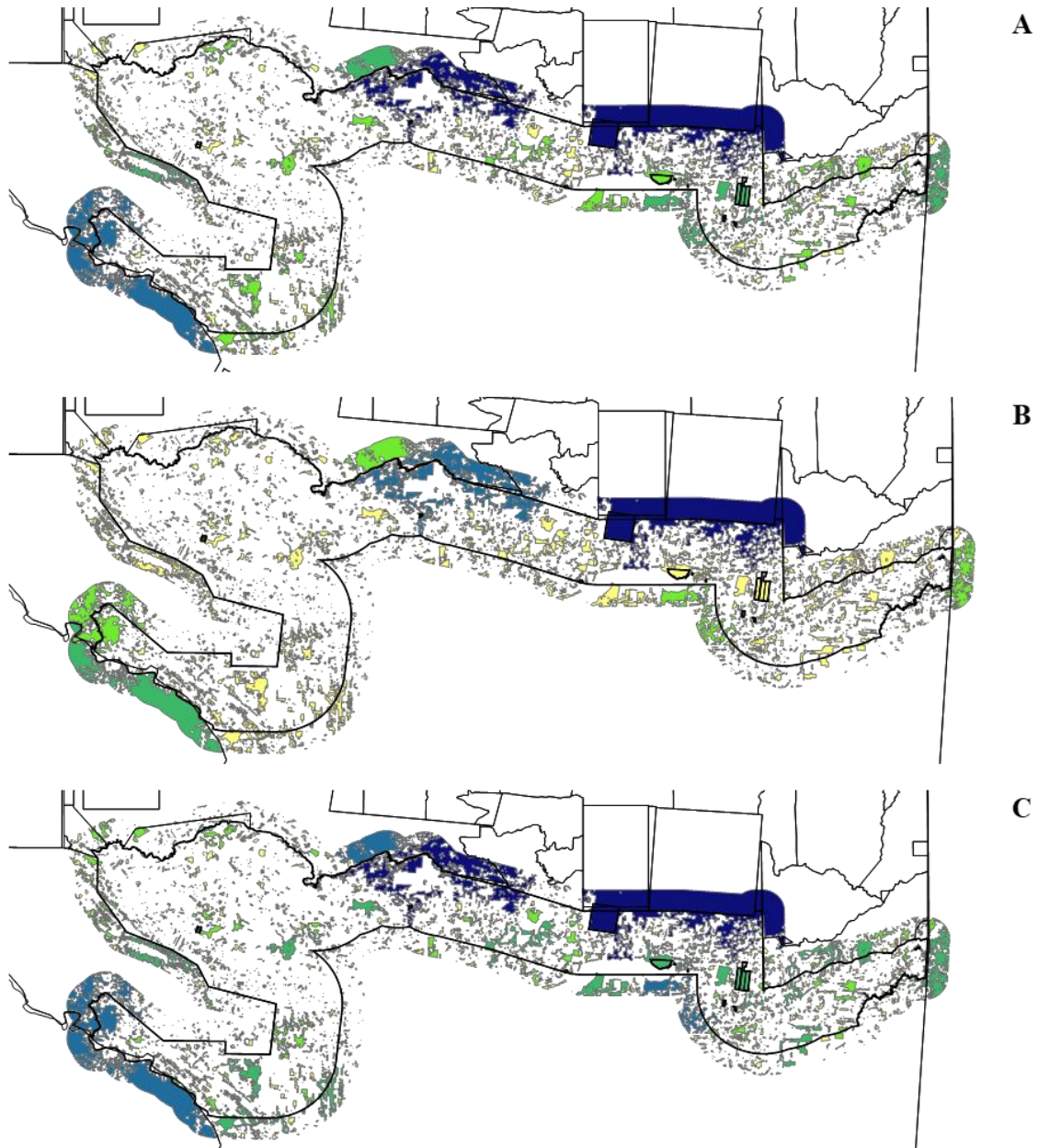


Nota. A) Diferencial de índice integral de conectividad, B) Componente de conectividad interna, C) Componente de flujo y D) Componente como conector. Los valores se muestran de los más bajos (color amarillo) a los más altos (color azul oscuro).

Figura F3

Informe final de Proyecto de Investigación

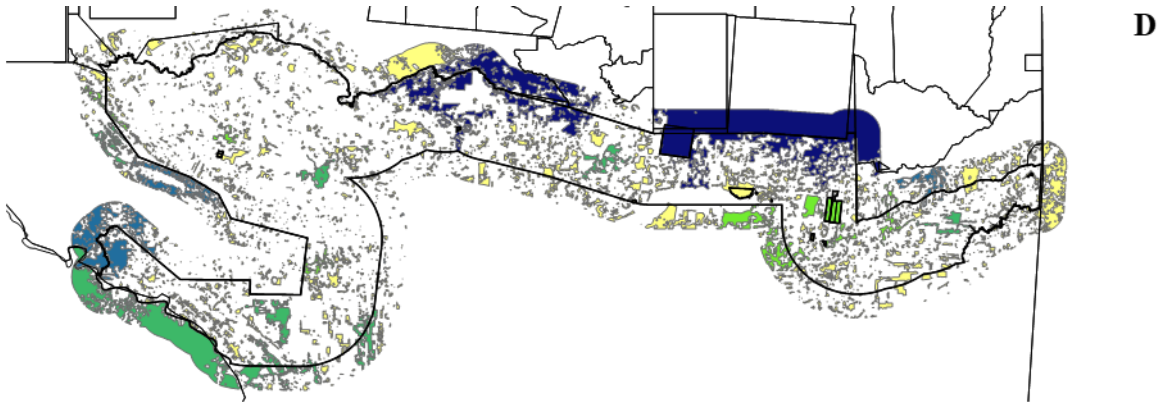
Diferencial del índice integral de conectividad para redes ecológicas en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para una especie con movilidad de diez kilómetros fuera de su hábitat



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura F3 (Continuación)

Diferencial del índice integral de conectividad para redes ecológicas en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya para una especie con movilidad de diez kilómetros fuera de su hábitat



Nota. A) Diferencial de índice integral de conectividad, B) Componente de conectividad interna, C) Componente de flujo y D) Componente como conector. Los valores se muestran de los más bajos (color amarillo) a los más altos (color azul oscuro).

Apéndice G Listados de especies registradas en muestreos de campo

Tabla G1



Informe final de Proyecto de Investigación

Listado de especies de aves registradas en parcelas ubicadas en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya

Orden	Familia	Especie	Autoridades	Nombre común
				Gavilán caminero, gavilán de los caminos
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Rupornis magnirostris</i>	(J.F. Gmelin, 1788)	
Apodiformes	Trochilidae	<i>Amazilia tzacatl</i>	(De la Llave, 1833)	Amazilia de cara rufa
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	(Linnaeus, 1758)	Aura, viuda, buitre
Columbiformes	Columbidae	<i>Claravis pretiosa</i>	(Ferrari-Perez, 1886)	Tórtola azul, tortolita azulada
		<i>Columbina talpacoti</i>	(Temminck, 1810)	Palomita rojiza
		<i>Leptotila verreauxi</i>	(Bonaparte, 1855)	Paloma montaraz común
Coraciiformes	Alcedinidae	<i>Chloroceryle amazona</i>	(Latham, 1790)	Martín pescador mediano
		<i>Chloroceryle americana</i>	(J.F. Gmelin, 1788)	Martín pescador chico
	Momotidae	<i>Momotus lessonii</i>	R. Lesson, 1842	Momoto común
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Swainson, 1827	Garrapatero asurcado
		<i>Piaya cayana</i>	(Linnaeus, 1766)	Urraca marrón, cucú ardilla, cuco-ardilla común, piscoy
Falconiformes	Falconidae	<i>Herpetotheres cachinnans</i>	(Linnaeus, 1758)	Halcón huaco, guance
Galliformes	Cracidae	<i>Ortalis vetula</i>	(Wagler, 1830)	Chachalaca norteña
Passeriformes	Corvidae	<i>Cyanocorax morio</i>	(Wagler, 1829)	Urraca, urraca café, pea
	Formicariidae	<i>Formicarius moniliger</i>	P.L. Sclater, 1857	Formicario mexicano



Informe final de Proyecto de Investigación

Orden	Familia	Especie	Autoridades	Nombre común
	Fringillidae	<i>Euphonia affinis</i>	(Lesson, 1842)	Fruterito garganta negra
		<i>Euphonia hirundinacea</i>	Bonaparte, 1838	Fruterito garganta amarilla
	Furnariidae	<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	Swainson, 1827	Trepatroncos pico de marfil
	Icteridae	<i>Dives dives</i>	(Deppe, 1830)	Turpial cantor
		<i>Icterus galbula</i>	(Linnaeus, 1758)	Ictérico anaranjado
	Parulidae	<i>Geothlypis poliocephala</i>	S.F. Baird, 1865	Chipe de pico grueso
		<i>Setophaga citrina</i>	(Boddaert, 1783)	Chipe careto
	Passerellidae	<i>Aimophila rufescens</i>	(Swainson, 1827)	Chingolo rojizo
		<i>Arremonops chloronotus</i>	(Salvin, 1861)	Curtío talero
	Poliopitilidae	<i>Poliopitila caerulea</i>	(Linnaeus, 1766)	Perlita común
		<i>Ramphocaenus melanurus</i>	Vieillot, 1819	Saltón picudo, José seco
	Thamnophilidae	<i>Thamnophilus doliatus</i>	(Linnaeus, 1764)	Batará rayado
	Thraupidae	<i>Saltator atriceps</i>	(Lesson, 1832)	Saltador de cabeza negra
		<i>Saltator grandis</i>	(Lesson, 1832)	Pepitero grisáceo
		<i>Sporophila moreletii</i>	(Deppe, 1830)	norteño
		<i>Thraupis abbas</i>	(Bonaparte, 1850)	Espiguero de collar
		<i>Tiaris olivaceus</i>	(Deppe, 1830)	Azulejo buscahigo
		<i>Volatinia jacarina</i>	(Linnaeus, 1766)	Tomeguín de la tierra
	Tityridae	<i>Pachyramphus aglaiae</i>	(Linnaeus, 1766)	Negrillo chirrí
			(Lafresnaye, 1839)	Cabezón degollado



Informe final de Proyecto de Investigación

Orden	Familia	Especie	Autoridades	Nombre común
			(M.H.C. Lichtenstein, 1823)	Titira piquinegro
		<i>Tityra inquisitor</i>	(von Spix, 1825)	Titira enmascarada
		<i>Tityra semifasciata</i>		Ratona dorso
	Troglodytidae	<i>Campylorhynchus zonatus</i>	(Lesson, 1832)	franjeado
		<i>Pheugopedius</i>	(Lafresnaye, 1845)	Ratona de pecho moteado
		<i>maculipectus</i>		Ratona
		<i>Uropsila leucogastra</i>	(Gould, 1837)	catarina
	Turdidae	<i>Turdus grayi</i>	(Bonaparte, 1838)	Mirlo huertero
	Tyrannidae	<i>Attila spadiceus</i>	(J.F. Gmelin, 1789)	Atila polimorfo
		<i>Contopus cinereus</i>	(von Spix, 1825)	Pibí tropical
		<i>Elaenia flavogaster</i>	(Thunberg, 1822)	Fiofío ventriamarillo
		<i>Empidonax minimus</i>	(W.M. Baird & S.F. Baird, 1843)	Mosquero mínimo
		<i>Legatus leucophaeus</i>	(Vieillot, 1818)	Mosquero pirata
		<i>Megarynchus pitangua</i>	(Linnaeus, 1766)	Bienteveo pitanguá
		<i>Myiarchus tuberculifer</i>	(d'Orbigny & Lafresnaye, 1837)	Copetón capirotdado
		<i>Myiarchus tyrannulus</i>	(Statius Müller, 1776)	Copetón tiranillo
		<i>Myiodynastes luteiventris</i>	P.L. Sclater, 1859	Bienteveo ventriazufrado
		<i>Myiozetetes similis</i>	(von Spix, 1825)	Bienteveo sociable, mosquero social
		<i>Oncostoma cinereigulare</i>	(P.L. Sclater, 1857)	Mosquerito piquicurvo norteño
		<i>Pitangus sulphuratus</i>	(Linnaeus, 1766)	Bienteveo común



Informe final de Proyecto de Investigación

Orden	Familia	Especie	Autoridades	Nombre común
		<i>Tyrannus couchii</i>	S.F. Baird, 1858	Tirano silbador
		<i>Tyrannus melancholicus</i>	Vieillot, 1819	Tirano melancólico
	Vireonidae	<i>Pachysylvia decurtata</i>	(Bonaparte, 1838)	Vireillo verde
		<i>Vireo flavoviridis</i>	(Cassin, 1851)	Vireo de cabeza gris
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Butorides virescens</i>	(Linnaeus, 1758)	Garcita verdosa
Piciformes	Galbulidae	<i>Galbula ruficauda</i>	Cuvier, 1816	Jacamará colirrufo
	Picidae	<i>Colaptes rubiginosus</i>	(Swainson, 1820)	Carpintero dorado olivo
		<i>Melanerpes aurifrons</i>	(Wagler, 1829)	Carpintero frentidorado
	Ramphastidae	<i>Pteroglossus torquatus</i>	(J.F. Gmelin, 1788)	Arasasí acollarado, tucán de collar
		<i>Ramphastos sulfuratus</i>	Lesson, 1830	Tucán, tucán piquiverde
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Amazona autumnalis</i>	(Linnaeus, 1758)	Loro de cara amarilla, loro frentirroja
		<i>Eupsittula nana</i>	(Vigors, 1830)	Perica Mancolola,
Tinamiformes	Tinamidae	<i>Crypturellus soui</i>	(Hermann, 1783)	ponchita o tinamú chico
Trogoniformes	Trogonidae	<i>Trogon caligatus</i>	Gould, 1838	Trogón violáceo
		<i>Trogon collaris</i>	Vieillot, 1817	Trogón acollarado
		<i>Trogon melanocephalus</i>	Gould, 1836	Trogón cabecinegro

Tabla G2



Informe final de Proyecto de Investigación

Porcentaje de registros de especies de aves registradas en los sitios de muestreo por tipo de uso del suelo en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya

Especie	Tipo de uso del suelo				
	Bosque	Borde	SAF	Guamil	Cultivo
<i>Cathartes aura</i>	100	0	0	0	0
<i>Crypturellus soui</i>	100	0	0	0	0
<i>Oncostoma cinereigulare</i>	100	0	0	0	0
<i>Pteroglossus torquatus</i>	100	0	0	0	0
<i>Vireo flavoviridis</i>	100	0	0	0	0
<i>Momotus lessonii</i>	50	50	0	0	0
<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	50	50	0	0	0
<i>Pachysylvia decurtata</i>	50	38	13	0	0
<i>Myiarchus tuberculifer</i>	33	50	17	0	0
<i>Thamnophilus doliatus</i>	33	33	33	0	0
<i>Euphonia hirundinacea</i>	33	33	33	0	0
<i>Leptotila verreauxi</i>	33	33	33	0	0
<i>Trogon melanocephalus</i>	25	58	8	0	8
<i>Tityra semifasciata</i>	25	25	25	0	25
<i>Galbula ruficauda</i>	25	0	75	0	0
<i>Trogon caligatus</i>	22	33	33	0	11
<i>Pheugopedius maculipectus</i>	20	40	30	0	10
<i>Ramphocaenus melanurus</i>	20	40	20	0	20
<i>Pitangus sulphuratus</i>	19	38	31	0	13
<i>Amazilia tzacatl</i>	13	63	25	0	0
<i>Saltator grandis</i>	13	25	50	0	13
<i>Myiozetetes similis</i>	9	55	27	0	9
<i>Cyanocorax morio</i>	8	50	33	8	0
<i>Dives dives</i>	4	35	48	4	9
<i>Uropsila leucogastra</i>	0	100	0	0	0
<i>Attila spadiceus</i>	0	100	0	0	0
<i>Aimophila rufescens</i>	0	100	0	0	0
<i>Amazona autumnalis</i>	0	100	0	0	0
<i>Claravis pretiosa</i>	0	100	0	0	0
<i>Euphonia affinis</i>	0	100	0	0	0
<i>Formicarius moniliger</i>	0	100	0	0	0
<i>Geothlypis poliocephala</i>	0	100	0	0	0
<i>Myiodynastes luteiventris</i>	0	100	0	0	0
<i>Pachyramphus aglaiae</i>	0	100	0	0	0
<i>Tityra inquisitor</i>	0	100	0	0	0



Informe final de Proyecto de Investigación

Especie	Tipo de uso del suelo				
	Bosque	Borde	SAF	Guamil	Cultivo
<i>Herpetotheres cachinnans</i>	0	80	0	0	20
<i>Eupsittula nana</i>	0	67	33	0	0
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	0	67	33	0	0
<i>Legatus leucophaeus</i>	0	67	0	0	33
<i>Arremonops chloronotus</i>	0	63	25	0	13
<i>Saltator atriceps</i>	0	60	40	0	0
<i>Tiaris olivaceus</i>	0	60	40	0	0
<i>Volatinia jacarina</i>	0	54	31	0	15
<i>Sporophila moreletii</i>	0	53	47	0	0
<i>Melanerpes aurifrons</i>	0	50	50	0	0
<i>Turdus grayi</i>	0	50	50	0	0
<i>Columbina talpacoti</i>	0	50	50	0	0
<i>Tyrannus melancholicus</i>	0	50	50	0	0
<i>Poliophtila caerulea</i>	0	50	0	0	50
<i>Ramphastos sulfuratus</i>	0	50	0	0	50
<i>Colaptes rubiginosus</i>	0	40	20	0	40
<i>Megarynchus pitangua</i>	0	40	20	0	40
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	0	33	67	0	0
<i>Tyrannus couchii</i>	0	25	50	0	25
<i>Elaenia flavogaster</i>	0	0	100	0	0
<i>Butorides virescens</i>	0	0	100	0	0
<i>Campylorhynchus zonatus</i>	0	0	100	0	0
<i>Chloroceryle amazona</i>	0	0	100	0	0
<i>Contopus cinereus</i>	0	0	100	0	0
<i>Empidonax minimus</i>	0	0	100	0	0
<i>Icterus galbula</i>	0	0	100	0	0
<i>Ortalis vetula</i>	0	0	100	0	0
<i>Piaya cayana</i>	0	0	100	0	0
<i>Rupornis magnirostris</i>	0	0	100	0	0
<i>Thraupis abbas</i>	0	0	100	0	0
<i>Chloroceryle americana</i>	0	0	0	0	100
<i>Setophaga citrina</i>	0	0	0	0	100
<i>Trogon collaris</i>	0	0	0	0	100

Tabla G3



Informe final de Proyecto de Investigación

Listado de vertebrados registrados con trampas cámara ubicadas en parcelas en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera Maya

Orden	Familia	Especie	Autoridad	Nombre común
Squamata	Iguanidae	<i>Ctenosaura sp.</i>		Garrobo
Tinamiformes	Tinamidae	<i>Tinamus major</i>	(J.F. Gmelin, 1789)	Mancolola grande
		<i>Crypturellus boucardi</i>	(P.L. Sclater, 1860)	Mancolola café
		<i>Tigrisoma mexicanum</i>	Swainson, 1834	Garza tigre
Pelecaniformes	Ardeidae		(Wagler, 1830)	Chachalaca
Galliformes	Cracidae	<i>Ortalis vetula</i>	Linnaeus, 1758	Faisán, pajuíl
		<i>Crax rubra</i>	(Bonaparte, 1855)	Paloma
		<i>Leptotila verreauxi</i>	Lawrence, 1868	montaraz común
Columbiformes	Columbidae	<i>Aramides albiventris</i>		Gallereta
Gruiformes	Rallidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Linnaeus, 1758	Tacuazín
Didelphimorphia	Didelphidae	<i>Philander opossum</i>	(Linnaeus, 1758)	Tacuazín cuatro ojos
		<i>Marmosa sp.</i>		Marmosa
		<i>Dasybus mexicanus</i>	W. C. H. Peters, 1865	Güeche, armadillo, cuzo
		<i>Tamandua mexicana</i>	(Saussure, 1860)	Tamandua, oso hormiguero
Cingulata	Dasypodidae		(Linnaeus, 1766)	Tepezcuintle
Pilosa	Myrmecophagidae		Gray, 1842	Sereque, cotuza
				Ardilla
Rodentia	Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i>		Ratón
		<i>Dasyprocta punctata</i>		
		<i>Sciurus sp.</i>		
		?		
		?		
Carnivora	Memphitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	(Boddaert, 1784)	Zorrillo rayado
		<i>Spilogale angustifrons</i>	Howell, 1902	Zorrillo pinto
	Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	C. E. H. Smith, 1842	Cabeza de viejo, perico ligero
			(Linnaeus, 1766)	
Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	(Linnaeus, 1758)	Pizote, coatí	
	<i>Procyon lotor</i>		Mapache	



Informe final de Proyecto de Investigación

Orden	Familia	Especie	Autoridad	Nombre común
	Canidae	<i>Urocyon</i>	(Schreber, 1775)	Zorra gris, gato de monte
		<i>Canis familiaris</i>	Linnaeus, 1758	Perro doméstico
	Felidae	<i>Leopardus sp.</i>		Ocelote/margay
Artiodactyla	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	(Zimmermann, 1780)	Venado cola blanca
		<i>Dicotyles tajacu</i>	(Linnaeus, 1758)	Coche de monte

Apéndice H. Valores de resistencia



Informe final de Proyecto de Investigación

Tabla H1

Valores de resistencia para especie con movilidad limitada y alta sensibilidad a amenazas

Camino/Uso	SIGAP	Pendiente	Valor de resistencia
Sendero			30
Rodera			40
Pavimentado dos o más vías			90
Pavimentado			80
No pavimentado, Tiempo bueno o seco			50
No pavimentado una vía			60
No pavimentado dos o más vías			70
Calles en áreas urbanas			90
Campos	ZUM	Con pendiente	80
Campos	ZUM	Sin pendiente	70
Campo	ZUM		70
Campos	ZAM	Con pendiente	80
Campos	ZAM	Sin pendiente	70
Campo	ZAM		70
Campos	RNP	Con pendiente	80
Campos	RNP	Sin pendiente	70
Campos	Chiquibul	Con pendiente	80
Campos	Chiquibul	Sin pendiente	70
Campo	Chiquibul		70
Campos	PGM	Sin pendiente	70
Campos	PNoBP	Con pendiente	80
Campos	PNoBP	Sin pendiente	70
Campo	PNoBP		70
Campos		Con pendiente	80
Campos		Sin pendiente	70
Campos			70
Nubes	ZAM	Sin pendiente	15
Nubes	PNoBP	Sin pendiente	10
Suelo	ZUM	Sin pendiente	70
Suelo	ZAM	Con pendiente	80
Suelo	ZAM	Sin pendiente	70
Suelo	ZAM		70
Suelo		Sin pendiente	70
Suelo			70



Informe final de Proyecto de Investigación

Camino/Uso	SIGAP	Pendiente	Valor de resistencia
Urbano	ZUM	Con pendiente	90
Urbano	ZUM	Sin pendiente	80
Urbano	ZUM		80
Urbano	ZAM	Con pendiente	90
Urbano	ZAM	Sin pendiente	80
Urbano	ZAM		80
Urbano	RNP	Sin pendiente	80
Urbano	PRM	Sin pendiente	80
Urbano	PNoBP	Con pendiente	90
Urbano	PNoBP	Sin pendiente	80
Urbano	PNoBP		80
Urbano		Con pendiente	90
Urbano		Sin pendiente	80
Urbano			80
Cultivos	ZUM	Con pendiente	60
Cultivos	ZUM	Sin pendiente	60
Cultivos	ZUM		60
Cultivos	ZAM	Con pendiente	60
Cultivos	ZAM	Sin pendiente	60
Cultivos	ZAM		60
Cultivos	RNP	Sin pendiente	60
Cultivos	PNoBP	Con pendiente	60
Cultivos	PNoBP	Sin pendiente	60
Cultivos	PNoBP		60
Cultivos		Con pendiente	60
Cultivos		Sin pendiente	60
Cultivos			60
Inundable	ZUM	Sin pendiente	60
Inundable	ZUM		50
Inundable	ZAM	Con pendiente	60
Inundable	ZAM	Sin pendiente	50
Inundable	ZAM		50
Inundable	PNoBP	Con pendiente	60
Inundable	PNoBP	Sin pendiente	50
Inundable	PNoBP		50
Inundable		Con pendiente	60
Inundable		Sin pendiente	50
Inundable			50



Informe final de Proyecto de Investigación

Camino/Uso	SIGAP	Pendiente	Valor de resistencia
Árboles	ZUM	Con pendiente	15
Árboles	ZUM	Sin pendiente	5
Árboles	ZUM		5
Árboles	ZAM	Con pendiente	20
Árboles	ZAM	Sin pendiente	10
Árboles	ZAM		10
Árboles	RNP	Con pendiente	15
Árboles	RNP	Sin pendiente	5
Árboles	RNP		5
Árboles	Chiquibul	Con pendiente	20
Árboles	Chiquibul	Sin pendiente	10
Árboles	Chiquibul		10
Árboles	PRM	Con pendiente	20
Árboles	PRM	Sin pendiente	10
Árboles	PNoBP	Con pendiente	5
Árboles	PNoBP	Sin pendiente	1
Árboles	PNoBP		1
Árboles		Con pendiente	25
Árboles		Sin pendiente	20
Árboles			20
Agua (ríos y lagunas pequeñas)			60
Lagos/Lagunas			100

Nota. Siglas: SIGAP = sistema guatemalteco de áreas protegidas, ZAM = zona de amortiguamiento, ZUM = zona de usos múltiples, RNP = reserva natural privada, PRM = parque regional municipal, Chiquibul = reserva de biosfera Montañas Mayas Chiquibul y PNoBP = parque nacional o biotopo protegido. Valores de pendiente: con pendiente = pendiente mayor a 27 grados y sin pendiente = pendiente menor o igual a 27 grados.

Apéndice I. Actividades de divulgación y difusión de los resultados

Informe final de Proyecto de Investigación

Fotografía 1. Taller de socialización del proyecto con guardarrrecursos del Cecon



Fotografía 2. Taller de socialización del proyecto con socios



Fotografía 3. Socialización del proyecto con propietario de parcela para muestreo



Fotografía 4. Taller de socialización de avances con socios



Fotografía 5. Presentación de resultados a propietarios de parcelas donde se realizaron muestreos de campo



Fotografía 6. Actividad de socialización de resultados con alumnos de la escuela oficial rural mixta en aldea El Porvenir





Informe final de Proyecto de Investigación

Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación

El coordinador (a) de proyecto de investigación con base en el Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación cofinanciados por medio del Fondo de Investigación, artículo 20, elaboró este informe en función de los datos recabados en el proyecto.

Nombre del coordinador (a) del proyecto de investigación	Firma
Fecha: / /	

Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 19 del Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación cofinanciados por medio del Fondo de Investigación otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto “Redes ecológicas para la conectividad en la Reserva de la Biosfera Maya: Vinculando desarrollo socioeconómico y conservación de la biodiversidad” en mi calidad de directora del instituto de investigaciones químicas y biológicas, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Vo.Bo. Dra. Eunice Enríquez Directora IIQB	Firma
Fecha: / /	

Recepción de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Inga. Andrea Rodas Coordinadora del programa universitario de investigación en recursos naturales y ambiente	Firma
Fecha: / /	

/Digi2025