

Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Informe final

El tapir centroamericano (*Tapirus bairdii* Gill, 1865) como indicador de la integridad ecológica en zonas núcleo de la Reserva de Biosfera Maya, Guatemala.

Equipo de investigación

Manolo José García Vettorazzi – Coordinador, Vivian Roxana González Castillo – Investigadora, Gerber Daniel Guzmán Flores - Auxiliar de Investigación II y Raquel Sofía Leonardo Manrique - Investigadora asociada

Guatemala, noviembre 2018

Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, Centro de Estudios Conservacionistas, Fundación Defensores de la Naturaleza, Programa mundial para la Conservación de los Tapires del Grupo de Especialistas del Tapir de la UICN y la Fundación Segré, Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Dirección General de Patrimonio Cultural y Natural del Ministerio de Cultura y Deportes (Parque Nacional Tikal y Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo)

Dr. Erwin Humberto Calgua Guerra
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. Saúl Guerra Gutiérrez
Coordinador Puirna

Lic. Manolo José García Vettorazzi
Coordinador del proyecto

Lcda. Vivian Roxana González Castillo
Investigadora

Bach. Gerber Daniel Guzmán Flores
Auxiliar de investigación II

Raquel Sofía Leonardo Manrique
Investigadora asociada

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2018. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.2.35 durante el año 2018 en el Programa Universitario de Investigación de Recursos Naturales y Ambiente.

Financiamiento aprobado por Digi: Q 294,248.5 Financiamiento ejecutado: Q 203,030.95

Índice

1. Resumen	5
2. Palabras clave	5
3. Abstract and keywords	5
4. Introducción	7
5. Planteamiento del problema.....	9
6. Preguntas de investigación.....	10
7. Delimitación en tiempo y espacio.....	10
8. Marco teórico	11
9. Estado del arte	14
10. Objetivo general	16
11. Objetivos específicos.....	16
12. Hipótesis	16
13. Materiales y métodos	17
14. Vinculación, difusión y divulgación	24
15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados	26
16. Análisis y discusión de resultados	30
17. Conclusiones	33
18. Impacto esperado	34
19. Referencias.....	35
20. Agradecimientos	40
21. Apéndice	41

Figuras

Figura 1. Áreas de estudio que incluyen cinco zonas núcleo de la Reserva de Biosfera Maya	11
Figura 2. Mapa mostrando la ubicación de las trampas-cámara en las áreas de estudio	18
Figura 3. Mapa del sistema hídrico en la Reserva de Biosfera Maya	21
Figura 4. Mapa mostrando la cobertura forestal clasificada de acuerdo a su patrón morfológico espacial.....	22
Figura 5. Mapas mostrando la distancia desde: cuerpos de agua, borde de la cobertura forestal, poblados, caminos, puntos de calor 2014-2018 y puntos de calor 2018.....	23
Figura 6. Gráficos de dispersión de las seis covariables y la frecuencia de fotocaptura de <i>Tapirus bairdii</i> para el bloque de áreas RBM-NE.....	29

Tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	19
Tabla 2 Número de fotografías y eventos independientes por área de estudio.....	26
Tabla 3 Estimaciones de la ocupación de <i>Tapirus bairdii</i> para las áreas de estudio utilizando el modelo nulo.....	27
Tabla 4 Modelos empleados para la estimación de la ocupación de <i>Tapirus bairdii</i> para el bloque denominado RBM-NE	27

Tabla 5 Modelos empleados para la estimación de la ocupación de <i>Tapirus bairdii</i> para el bloque Zotz-Tikal-Yaxhá.....	28
---	----

Apéndices

Apéndice 1. Fotografías de las áreas de estudio	41
Apéndice 2. Fotografías del trabajo de campo en las áreas de estudio.....	42
Apéndice 3 Fotografías de <i>Tapirus bairdii</i> en las áreas de estudio	43
Apéndice 4 Tabla con los historiales de captura de <i>Tapirus bairdii</i> en las áreas de estudio...	44

El tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) como indicador de la integridad ecológica en zonas núcleo de la Reserva de Biosfera Maya, Guatemala.

1. Resumen

La Reserva de Biosfera Maya (RBM) es uno de los principales centros de diversidad biológica del país y la región, por lo que es de relevancia asegurar su manejo sostenible y conservación para el beneficio de la sociedad. En la actualización del Plan Maestro de esta reserva en el año 2015, se incluyó al tapir (*Tapirus bairdii*) como elemento natural de conservación, por lo que se hizo necesario contar con programas de monitoreo de esta especie que permitan conocer la tendencia de sus poblaciones en el tiempo. En ese mismo año se inició el proceso para el desarrollo de un protocolo de monitoreo del tapir, al cual se le dio continuidad con el presente estudio, siendo el objetivo general fue establecer una línea base de la aplicación del registro de la presencia del tapir (*Tapirus bairdii*) como un indicador de la integridad ecológica en programas de investigación y monitoreo de la RBM. Se proyectó una rejilla de 9 km² para la selección de entre cinco y ocho celdas en cada área de estudio. En cada celda se ubicó un sitio de muestreo para la instalación de una cámara-trampa para el registro de la presencia de tapir. Con los datos obtenidos en campo se realizaron análisis de ocupación y regresiones lineales para evaluar la relación entre la presencia de la especie, distancia a cuerpos de agua y amenazas potenciales. Se estimó una probabilidad de ocupación para la RBM de .54 y la distancia a poblados fue la amenaza con mayor relación.

2. Palabras clave

Manejo adaptativo, efectividad de manejo, frecuencia de captura, ocupación, fototrampeo.

3. Abstract and keywords

The Maya Biosphere Reserve (RBM) is one of the main centers of biological diversity in the country and the region, so it is important to ensure its sustainable management and conservation for the benefit of society. In the update of the Master Plan of this reserve in 2015, the tapir (*Tapirus bairdii*) was included as a natural conservation element, so it became necessary to have monitoring programs of this species in order to know the trend of their populations in the time. In the same year, the process for the development of a monitoring protocol for the tapir began, which was continued with the present study, with the general

objective of establishing a baseline for the application of the record of the presence of the tapir as an indicator of ecological integrity in research and monitoring programs of the MBR. A grid of 9 km² was projected for the selection of between five and eight cells in each study area. In each cell a sampling site was located for the installation of a camera-trap for the record of the presence of tapir. With the data obtained in the field, occupancy estimation and linear regressions were performed to evaluate the relationship between the presence of the species, distance to bodies of water and potential threats. An occupancy probability of .54 was estimated for the MBR and the distance to villages was the threat with the highest influence.

Key Words: adaptive management, management effectiveness, capture frequency, occupancy, photo-trapping

4. Introducción

La diversidad biológica es la base para el desarrollo de las sociedades humanas a través de los servicios ecosistémicos que provee de manera directa (aprovisionamiento) o indirecta (regulación y cultural) a la población (Constanza et al., 2017; Laterra, Jobbágy, & Paruelo, 2011). En este sentido, la Reserva de Biosfera Maya (RBM) es de gran relevancia a nivel nacional, regional y mundial por la elevada diversidad biológica presente en este territorio y en consecuencia la variedad y cantidad de servicios ecosistémicos que provee (Consejo Nacional de Áreas Protegidas [Conap], 2015). A partir de lo cual, se identifica la necesidad de desarrollar programas de monitoreo biológico e investigación que permitan evaluar la integridad ecológica de sus componentes a través del tiempo, como una manera de evaluar la efectividad del manejo y conservación de esta importante reserva (Noss, 1990; Yoccoz, Nichols, & Boulinier, 2001).

En la más reciente actualización del plan maestro de la RBM se seleccionó al (*Tapirus bairdii* Gill, 1865) como uno de los elementos naturales de conservación, a partir de la importancia que tiene la denominada Selva Maya para la supervivencia de esta especie a nivel global (Carrillo-Reyna, N., Reyna-Hurtado, R., & Schmook, B., 2015; Conap, 2015; García, Castillo, & Leonardo, 2011; García & Leonardo, 2016; Naranjo, 2009; Naranjo, 2018; Naranjo, Amador-Alcalá, Falconi-Biones, & Reyna-Hurtado, 2015; Pérez-Cortéz, Enríquez, Sima-Panti, Reyna-Hurtado, & Naranjo, 2012; Pérez-Cortéz & Matus, 2010; Sandoval-Serés, Reyna-Hurtado, Briceño-Méndez, & de-la-Cerda-Vega, 2016; Schank et al., 2015). Debido a lo cual se hizo necesario contar con un protocolo de monitoreo de esta especie como una herramienta de manejo de la reserva. A partir de esta necesidad, a partir del año 2015 el Programa para la Conservación del tapir y su hábitat en Guatemala dio inicio al desarrollo de un protocolo estandarizado. En estos años se implementaron dos estudios piloto, cuyos resultados preliminares han generado insumos para el enriquecimiento del protocolo. De modo que el presente estudio se plantea como el seguimiento a esta iniciativa, tomando en cuenta las sugerencias generadas por los estudios anteriores, con el fin de contribuir con un nuevo avance en el proceso del desarrollo de indicadores de integridad ecológica basados en criterios científicos.

El objetivo general del proyecto fue establecer una línea base para la aplicación del registro de la presencia del tapir como un indicador de la integridad ecológica en programas de

investigación y monitoreo en zonas núcleo de la RBM. Los objetivos específicos fueron: (a) Registrar la presencia del tapir centroamericano (*T. bairdii*) en cinco zonas núcleo de la RBM, (b) estimar la frecuencia de captura y la ocupación del tapir centroamericano (*T. bairdii*) en zonas núcleo de la RBM. y (c) Relacionar la frecuencia de captura y la ocupación del tapir centroamericano (*T. bairdii*) con fuentes de presión existentes en las áreas de estudio.

Para la toma de datos en campo se utilizó el protocolo base generado en años anteriores, incorporando los ajustes sugeridos por los estudios piloto. Dicho protocolo se basa en la estimación de la ocupación del tapir, parámetro que ha sido estimado por investigadores en la región (Cove et al., 2013; De la Torre, Rivero, Camacho, & Álvarez-Márquez, 2018; McCann, Wheeler, Coles, & Bruford, 2012). Este protocolo se basa en la técnica de fototrampeo, utilizando cámaras automáticas o cámaras trampa como instrumentos para el registro de la presencia del tapir. Los sitios de muestreo se definieron empleando una rejilla o cuadrícula con celdas de 9 km² proyectada sobre los sitios de estudio, colocando una cámara en cada una de las celdas. El estudio se llevó a cabo en cinco áreas protegidas: Parque Nacionales Tikal, Yaxhá-Nakum-Naranjo y Sierra Lacandón, y Biotopos Protegidos Dos Lagunas y San Miguel La Palotada, todas Zonas Núcleo de la RBM.

5. Planteamiento del problema

La RBM es considerada uno de los principales centros de diversidad biológica en el país y por lo tanto, es de gran importancia para el desarrollo de la sociedad guatemalteca debido a los servicios ecosistémicos que provee a poblaciones locales y al resto del país. En este sentido, es necesario garantizar un manejo adecuado en cada una de las distintas zonas que componen esta reserva, de modo que se asegure la conservación de la diversidad biológica y por lo tanto la provisión de servicios. De modo que se hace necesaria la implementación de un monitoreo biológico sistemático de la integridad ecológica de los distintos componentes de la RBM, la cual permita evaluar su desempeño en cuanto a la conservación de elementos de conservación a través del tiempo.

Estudios realizados por el Cecon de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Usac) a lo largo de diez años han identificado a la RBM como el principal remanente de hábitat para el tapir en Guatemala, ya que contiene aproximadamente el 80% de la población silvestre de esta especie en el país, la cual a su vez, presenta una elevada probabilidad de supervivencia para un período de 100 años (García, Leonardo, Gómez, & García, 2008a; García, Leonardo, Gómez, & García, 2008b; García, Leonardo, García, & Gómez, 2009; García, Leonardo, Castillo, Gómez, & García, 2010a; García, Leonardo, Gómez, García, & Castillo, 2010b; García, Castillo, & Leonardo, 2011; García & Leonardo, 2016). Siendo también uno de los principales remanentes para la especie a escala regional (García & Leonardo, 2016; Schank et al., 2015).

A partir de la relevancia de esta especie para la RBM, y viceversa, se incluyó al tapir como un elemento de conservación en la más reciente actualización del Plan Maestro de esta reserva (Conap, 2015). Siendo un nuevo elemento de conservación, consecuentemente se planteó la necesidad de establecer un protocolo de muestreo para esta especie. En respuesta a esta necesidad, en los años 2016 y 2017, se llevaron a cabo dos estudios piloto para el desarrollo de un protocolo de monitoreo del tapir en la RBM, los cuales fueron desarrollados por el Programa para la Conservación del Tapir en Guatemala del Cecon de la Usac y la Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN), con el cofinanciamiento de la Dirección General de Investigación (Digi) de la Usac, el Grupo de Especialistas del Tapir (TSG) de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y la Fundación Segré. Los primeros resultados sugirieron que existía una correlación entre la presencia del tapir y la

integridad ecológica en tres zonas núcleo de la RBM. Sin embargo, también se evidenció la necesidad de ampliar el área de muestreo de una sola zona núcleo a zonas núcleo contiguas, como lo es el denominado bloque Zotz-Tikal-Yaxhá, con el fin de obtener una mejor estimación de la probabilidad de ocupación del tapir.

La implementación del presente estudio dio continuidad al proceso de desarrollo y calibración de un protocolo de monitoreo del tapir, atendiendo las recomendaciones propuestas a partir de los resultados científicos obtenidos a lo largo de dos años. El desarrollo de este protocolo, a su vez, contribuyó a la implementación de programas de investigación y monitoreo propuestos en el Plan Maestro de la RBM 2015-2025 y los planes maestros de las distintas zonas núcleo (Conap, 2015; Conap, DGPNyC, & Cecon, 2010).

6. Preguntas de investigación

¿Está presente *T. bairdii* en todas las áreas de estudio? ¿Hay alguna área de estudio donde no esté presente *T. bairdii*?

¿Cuál es la frecuencia de captura de *T. bairdii* en las áreas de estudio? ¿Cuáles son las áreas con una mayor frecuencia de captura de *T. bairdii*?

¿Cuál es la ocupación de *T. bairdii* para las áreas de estudio? ¿Hay áreas con una mayor ocupación de la especie?

¿Cuál es la relación entre la frecuencia de captura y la ocupación de *Tapirus bairdii* con amenazas y presiones existentes en la RBM?

7. Delimitación en tiempo y espacio

El estudio se llevó a cabo en el año 2018. La fase de campo abarcó los meses de marzo a julio y se implementó en cinco zonas núcleo de la RBM: los Parques Nacionales Tikal, Yaxhá-Nakum-Naranjo y Sierra de Lacandón, y los Biotopos Dos Lagunas y San Miguel-La Palotada (Figura 1 y Apéndice 1).

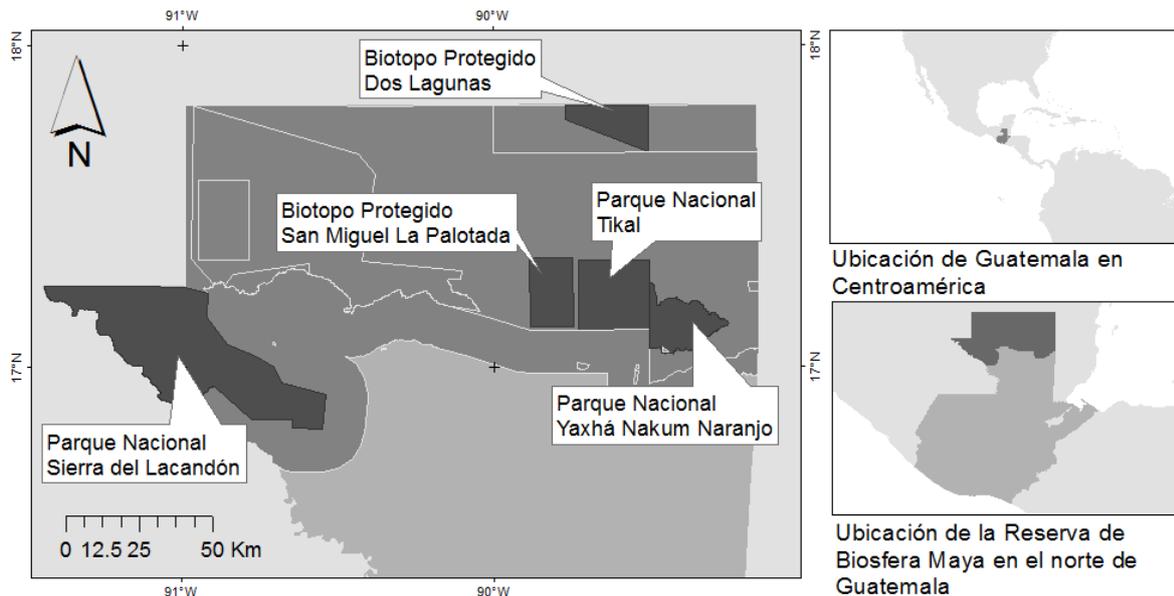


Figura 1. Áreas de estudio que incluyen cinco zonas núcleo de la Reserva de Biosfera Maya

8. Marco teórico

El tapir o danto

Corresponde a la especie *Tapirus bairdii* y es un mamífero perteneciente la Familia Tapiridae (tapires) del Orden Perissodactyla (ungulados con pezuñas impares) (Wilson & Reeder, 2005). Habita desde el sureste de México hasta el noroccidente de Colombia, se considera extinto en El Salvador, siendo en la actualidad el único representante nativo del Orden para la región, se localiza desde los bajos a nivel del mar hasta los 3,620 msnm (García et al., 2016; Schank et al., 2015).

Se caracteriza por poseer una proboscis formada por la nariz y el labio superior. Se considera el mamífero terrestre de mayor talla en el Neotrópico (regiones tropicales del continente americano), ya que puede llegar a medir hasta 2 m de largo y 1.2 m de altura a la grupa, y pesar hasta 350 kg (Reid, 2009). Posee 4 dedos en las patas delantera, pero solamente apoya su peso en 3 de ellos; en las patas traseras posee 3 dedos en los cuales apoya su peso, sus cuatro extremidades son cortas y gruesas (Chávez, Moguel, Gonzáles & Guiris, 2011).

Habita diferentes tipos de bosques y selvas, principalmente selvas tropicales subcaducifolias, subperennifolias, perennifolias, bosque mesófilo de montaña, pantanales, humedales, bosque tropical seco y manglares, generalmente prefieren bosque extensos y con cuerpos de agua presentes, como guamiles inundables (Godínez, 2014).

Presenta una dieta totalmente herbívora ya que se alimenta principalmente de hojas, ramas y brotes tiernos, consumiendo también algunos frutos y corteza de árboles, siendo un

importante dispersor de especies como el chicozapote (*Manilkara achras*) (O’Farrill, Galetti, & Campos-Arceiz, 2012). Posee un sistema digestivo simple y poco eficiente, por lo que debe de comer grandes cantidades alimento y defeca en gran proporción (Reid, 2009).

De hábitos solitarios, aunque forman pequeños grupos de dos a cinco individuos durante los periodos de apareamiento, el periodo ocurre en cualquier época del año (Godínez, 2014). El período de gestación dura aproximadamente 13 meses, y las crías permanecen con su madre a lo largo de 1 año, por lo cual los tapires presentan ciclos reproductivos lentos y la recuperación de poblaciones que han sido afectadas suele ser lenta. (Reid, 2009). El rango de hogar varía entre 1 km² hasta 4 km², generalmente activos durante las primeras horas y últimas horas de la noche; cuando sufren presión por la cacería su actividad se concentra durante la noche (Godínez, 2014).

La especie ha sido catalogada como En Peligro en la Lista Roja de especies el peligro de extinción de la UICN, como consecuencia de la disminución de sus poblaciones y pérdida de su hábitat en años recientes (García et al., 2016).

El tapir en Guatemala

De acuerdo a registros históricos desde la época prehispánica al año 2,000 se sabe que la especie tuvo una amplia distribución en el país, estando presente en las 3 vertientes que posee el país (del Pacífico, del Caribe y del Golfo); sin embargo, en la actualidad, únicamente se presenta en 2 de ellas, ya que se encuentra extinto en la cadena volcánica y en la denominada Costa Sur, en la vertiente del Pacífico (García & Leonardo, 2016).

Debido a la pérdida de la cobertura forestal del país, lo cual a su vez representa la pérdida del hábitat del tapir, la especie se encuentra distribuida en poblaciones aisladas entre sí en remanentes de bosque tropical (García, Castillo, & Leonardo, 2011). Los principales remanentes son: la RBM noreste, la RBM nororiente, la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, la Ecorregión Lachuá, áreas del departamento de Izabal y áreas del sur de Petén (García & Leonardo, 2016). Actualmente se han generado insumos para la conservación del tapir en Guatemala mediante recopilación de datos en campo, los esfuerzos se han concentrado en la RBM lugar identificado como prioritario para la conservación de la especie en el país (García et al., 2008a; García et al., 2008b; García et al., 2009; García et al., 2010a; García et al., 2010b; García et al., 2011; García & Leonardo, 2016).

El tapir como elemento natural de conservación en la RBM

Como ya se mencionó, en la RBM se encuentra la mayor extensión de bosque que habita el tapir en Guatemala, siendo la parte noreste y noroeste, incluyendo las zonas de amortiguamiento, de uso múltiple y núcleo (García & Leonardo, 2016). Debido a la importancia que tiene la RBM para la supervivencia del tapir, en la última actualización de su Plan Maestro fue seleccionado como un elemento natural de conservación de la reserva (Conap, 2015).

Monitoreo biológico

El monitoreo biológico es una importante herramienta para el manejo y la planificación de espacios naturales protegidos, ya que permite conocer el estado actual de elementos de conservación e identificar cambios que ocurran en su composición, estructura o función (Noss, 1990; Yoccoz, Nichols, & Boulinier, 2001). A pesar de la aplicación del monitoreo, en la actualidad, en muchos casos no se utiliza información científica para la toma de decisiones de manejo sostenible y conservación de recursos naturales, dando lugar a la degradación y desgaste de dichos recursos, así como a la influencia de intereses políticos y económicos (Nichols & Williams, 2006).

Sistemas de monitoreo biológico en áreas protegidas

Dada la relevancia de contar con sistemas de monitoreo biológico, el sistema nacional de parques nacionales de Estados Unidos desarrollaron a lo largo de casi diez años, objetivos comunes para el monitoreo biológico a través del cual se pretende: a) determinar el estado actual y tendencias de los indicadores seleccionados, b) proveer alertas tempranas de condiciones anormales que se presenten, c) generar información que permita una mejor comprensión de la dinámica natural de los ecosistemas, d) generar información para cumplir con requisitos legales relacionados con la protección de recursos naturales y la visitación turística, y e) proveer de un mecanismo para evaluar el éxito en cuanto al alcance de los objetivos de efectividad de manejo propuestos (Fancy, Gross, & Carter, 2009; Sarr et al., 2007). Para la implementación del monitoreo, en el largo plazo, un aproximado de 270 parques nacionales fueron organizados en 32 redes eco regionales que comparten financiamiento y personal especializado (Fancy & Bennetts, 2012; Fancy et al., 2009; O'Dell et al., 2005).

Parámetros y métricas utilizados para el monitoreo biológico

Existe una variedad de métricas relacionadas con el monitoreo biológico incluyendo aquellas relacionadas con poblaciones de especies (Cullen, Rudran, & Valladares-Padua, 2006). Dada la dificultad de estimar abundancias relativas o absolutas de las especies para el monitoreo biológico, se han desarrollado otras métricas que permiten una aproximación más realista de las dinámicas y cambios en poblaciones animales como lo es la estimación de la probabilidad de ocupación (MacKenzie, Nichols, Hines, Knutson, & Franklin, 2003; MacKenzie, Nichols, Royle, Pollock, Bailey, & Hines, 2006; MacKenzie & Royle, 2005). Permitiendo de esta manera un avance en el desarrollo de programas de monitoreo a través de distintas aplicaciones y la generación de nuevas métricas (Bailey, MacKenzie, & Nichols, 2014).

9. Estado del arte

Monitoreo biológico en la RBM

La Mesa de monitoreo de la Selva Maya es un espacio en el cual se llevan a cabo la coordinación de actividades de monitoreo biológico e intercambio de experiencias en investigación científica con la participación de instituciones de gobierno, organizaciones de la sociedad civil y concesionarios. Actualmente forman parte de la mesa: Conap Región VIII, *Wildlife Conservation Society* (WCS), Rainforest Alliance, Asociación de rescate y conservación de animales silvestres (Arcas), Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN), Cecon, Parque Nacional Tikal, The Nature Conservancy, Fundación ProPetén, Fundación Naturaleza para la Vida (NPV), Proyecto Selva Maya GIZ, Asociación Balam y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (Maga).

Con la participación de miembros de esta mesa se ha desarrollado el Sistema de monitoreo de la integridad ecológica de la RBM, desarrollado por la WCS y el Centro de evaluación y monitoreo del Conap (Cemec). En la actualidad el sistema cuenta con cuatro indicadores que son: 1) éxito de anidación de la guacamaya roja, 2) presencia de árboles semilleros en concesiones forestales de la Zona de Usos Múltiples (ZUM), 3) calidad de xate entregado a casas seleccionadoras, también en concesiones forestales de la ZUM, y 4) indicadores de SIG para evaluar la integridad.

Con el fin de fortalecer el monitoreo biológico en la RBM, el Cecon de la Usac ha llevado a cabo distintos estudios científicos orientados a proveer información básica para el desarrollo de programas de monitoreo, principalmente en temas relacionados con el cambio climático y

la integridad ecológica (García et al., 2009; García, González, & Yaxcal, 2014; García, López, & Ramírez, 2015a, García, López, & Ramírez, 2015b). Y a partir del año 2015, en conjunto con la FDN a través del Programa para la conservación del tapir y su hábitat en la RBM, se inició el proceso para el desarrollo de un protocolo de monitoreo para las poblaciones del tapir en Zonas Núcleo de la RBM.

10. Objetivo general

Establecer una línea base para la aplicación del registro de la presencia del tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) como un indicador de la integridad ecológica en programas de investigación y monitoreo en zonas núcleo de la Reserva de Biosfera Maya.

11. Objetivos específicos

Registrar la presencia del tapir centroamericano (*T. bairdii*) en cinco zonas núcleo de la RBM.

Estimar la frecuencia de captura y la ocupación del tapir centroamericano (*T. bairdii*) en zonas núcleo de la RBM.

Relacionar la frecuencia de captura y la ocupación del tapir centroamericano (*T. bairdii*) con fuentes de presión existentes en las áreas de estudio.

12. Hipótesis

La presencia del tapir presentará una relación inversa con el grado de amenaza, es decir habrá mayor frecuencia de fotocaptura y ocupación en sitios con un menor grado de amenaza y viceversa.

13. Materiales y métodos

13.1 Enfoque y tipo de investigación

El enfoque de la investigación fue de carácter cuantitativo.

El alcance de la investigación fue de tipo asociativo.

13.2 Recolección de información

Para el muestreo se utilizó el protocolo propuesto por el Programa para la Conservación del Tapir y su Hábitat en Guatemala del Cecon y la Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN), y el proyecto Digi 2.03 del 2017, el cual se basa en la proyección de una cuadrícula o rejilla con celdas de 9 km² en un mapa para el establecimiento de los sitios de muestreo. En cada celda de la cuadrícula se instaló una cámara, de preferencia en el centro de la misma, para el registro de individuos de tapir y de otras especies. Durante las revisiones periódicas del funcionamiento de las cámaras se buscaron rastros de tapir como huellas, heces y echaderos, como complemento al fototrampeo. El universo de estudio fueron los tapires presentes en la RBM y la muestra los tapires fotocapturados a lo largo de dos meses en celdas de 9 km², proyectadas sobre las áreas de estudio.

Para cada una de las áreas de estudio se seleccionaron entre cinco y ocho celdas a ser muestreadas, de preferencia aquellas que se ubicaban contiguas entre sí (Figura 2 y Apéndice 2). El número de celdas a muestrear en cada área responde a la limitante del equipo (cámaras automáticas) con las que se cuenta y el difícil acceso a las áreas. Así mismo, se evitó la instalación de equipo en las áreas con mayor presencia ilegal de personas, para reducir el riesgo a robo o destrucción del mismo. En estas áreas se utilizó el registro de rastros de tapir como huellas o heces como método de colecta de información.

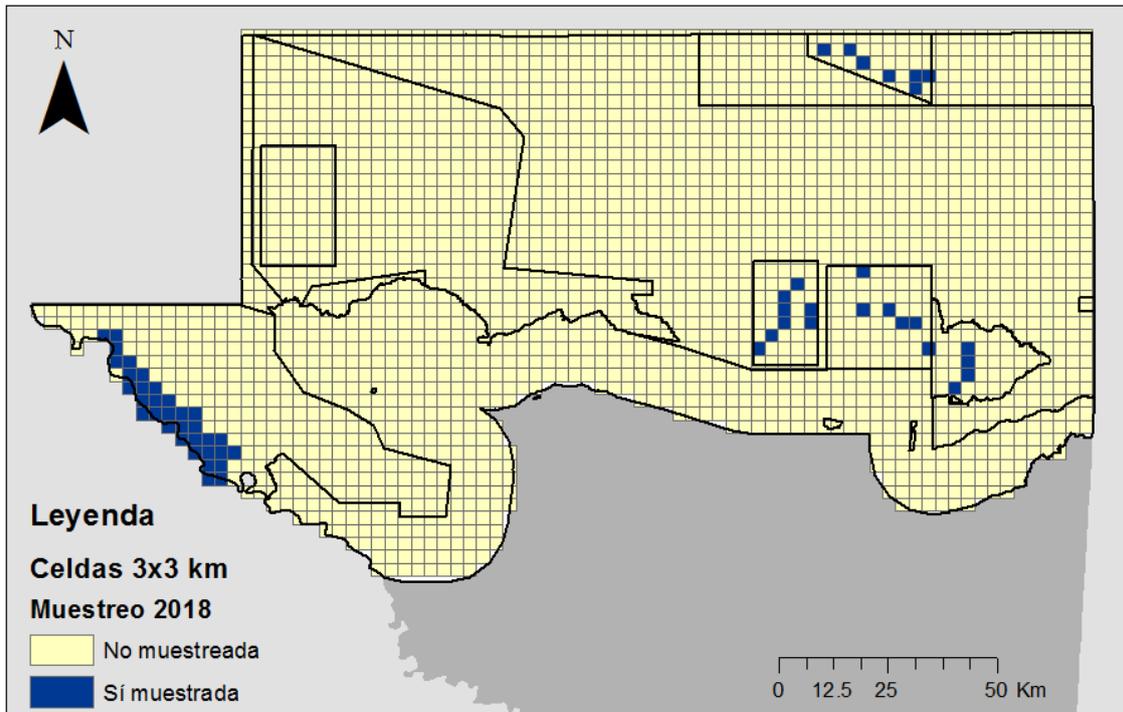


Figura 2. Mapa mostrando la ubicación de las trampas-cámara en la Reserva de Biosfera Maya

La toma de datos en el Parque Nacional Sierra de Lacandón estuvo a cargo de la Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN) como parte de las actividades del programa de investigación del Parque Nacional Sierra de Lacandón y del Programa para la conservación del tapir en Guatemala.

13.3 Definición de la muestra

La muestra se definió con base en la disponibilidad de cámaras-trampa para realizar el estudio.

13.4 Técnicas e instrumentos

Se utilizó el método del fototrampeo, el cual consiste en la utilización de cámaras automáticas o cámaras trampa para el registro fotográfico de la fauna silvestre mediante la activación de sensores de movimiento. El instrumento para la captura de datos que se utilizó fueron cámaras automáticas marca Bushnell, modelo Trophycam 14MP Agressor No Glow, activadas las 24 horas de día y programadas para tomar una foto en cada evento de captura

con un segundo de espera entre eventos de fotocaptura. El muestreo en cada sitio tuvo una duración de tres meses.

13.5 Operacionalización de las variables

Tabla 1
Operacionalización de variables

Objetivo específicos	Variables	Técnicas	Instrumentos	Medición o cualificación
Registrar la presencia del tapir centroamericano (<i>T. bairdii</i>) en cinco zonas núcleo de la RBM.	Presencia/ ausencia de <i>T. bairdii</i>	Fototrampeo y observación de rastros	Cámaras automáticas y boletas de registro de rastros	Número de registros de presencia de <i>T. bairdii</i> en lapsos de 10 días.
Estimar la frecuencia de captura y la ocupación del tapir centroamericano (<i>T. bairdii</i>) en zonas núcleo de la RBM.	Frecuencia de registro de <i>T. bairdii</i> -Ocupación de <i>T. bairdii</i>	Fototrampeo y observación de rastros	Cámaras automáticas y boletas de registro de rastros	Historial de captura de <i>T. bairdii</i> en lapsos de 10 días y estimación de la probabilidad de ocupación.
Relacionar la frecuencia de captura y la ocupación del tapir centroamericano (<i>T. bairdii</i>) con fuentes de presión existentes en las áreas de estudio.	Frecuencia de registro de tapir -Ocupación de <i>T. bairdii</i> -Densidad de caminos - Fuentes de presión	Análisis de correlación	Paquetes estadísticos	Densidad de caminos. -Patrón morfológico de la cobertura forestal. -Distancia a puntos de calor. -Distancia a centros poblados. -Relación entre la frecuencia de registro del tapir con fuentes de presión.

13.6 Procesamiento y análisis de la información

Las fotos obtenidas por las cámaras automáticas fueron procesadas de la siguiente manera: (a) se realizó una copia de seguridad en disco duro externo, (b) se eliminaron las fotos que no contenían imágenes de fauna, (c) se ingresaron al programa Camera Base (Tobler, 2013), el cual permite la recuperación de los metadatos de las fotos (fecha y hora) y la creación de una base de datos asignando los siguientes campos para cada fotografía: fecha, hora, especie, sexo y número de individuos, y (d) los datos se ingresaron en la base de datos de Zoología del Centro de Datos para la Conservación (CDC) del Cecon.

Una vez se contó con los datos procesados, se construyó una tabla conteniendo el historial de fotocaptura o frecuencia del registro de tapires para cada una de las celdas, en períodos de 10 días, colocando un número uno cuando ocurrió el registro tapires y cero cuando no hubo registros de presencia. La tabla generada fue relacionada con los polígonos de las celdas de 9 km² para la generación de mapas de la frecuencia de captura de la especie. La estimación de la ocupación se realizó para cada área, para el bloque de áreas protegidas RBM-NE, para el bloque de áreas protegidas Zotz-Tikal-Yaxhá y todas las áreas juntas.

A partir de los registros de tapir en las estaciones de muestreo, se elaboraron tablas de historiales de captura (presencia/ausencia) para los intervalos de diez días, en los cuales se asignó el valor uno cuando la especie estuvo presente y cero cuando estuvo ausente. Una vez creada la tabla de los historiales de captura, se utilizó el programa Presence (Hines, 2006) para la estimación de la probabilidad de ocupación. La estimación de la ocupación es un análisis basado en historiales de presencia/ ausencia que permite la estimación la probabilidad de ocupación de una determinada especie incorporando la probabilidad de detección como un parámetro adicional del modelo (MacKenzie et al., 2006). La tabla con los historiales de captura se ingresó al programa donde se realizó la estimación de la ocupación utilizando el parámetro para una sola temporada.

También se desarrollaron modelos de ocupación incluyendo covariables de hábitat, asumiendo que la detectabilidad fue constante en todos los sitios de estudio. Los valores de las covariables se obtuvieron a partir del procesamiento de mapas temáticos disponibles en el Sistema de Información Geográfica (SIG) del Centro de Datos para la Conservación (CDC) del Cecon y en sitios en línea. Se incluyeron los mapas de cuerpos de agua, centros poblados

y caminos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:50,000 disponibles en el CDC, mapa del cambio en la cobertura forestal de Hansen y colaboradores (2013) y mapa de incendios desarrollado por la *National Aeronautics and Space Administration* [NASA] (2018), para el desarrollo de seis covariables: distancia a cuerpos de agua, distancia al borde de la cobertura forestal, distancia a centros poblados, distancia de caminos, distancia a incendios forestales en el período 2014 al 2018.

Para la elaboración del mapa de la distancia a cuerpos de agua, como primer paso se editó un mapa del sistema hídrico uniendo el mapa de cuerpos de agua y el mapa de ríos con la herramienta *Merge* del programa ArcMap 10.1 (Figura 3).

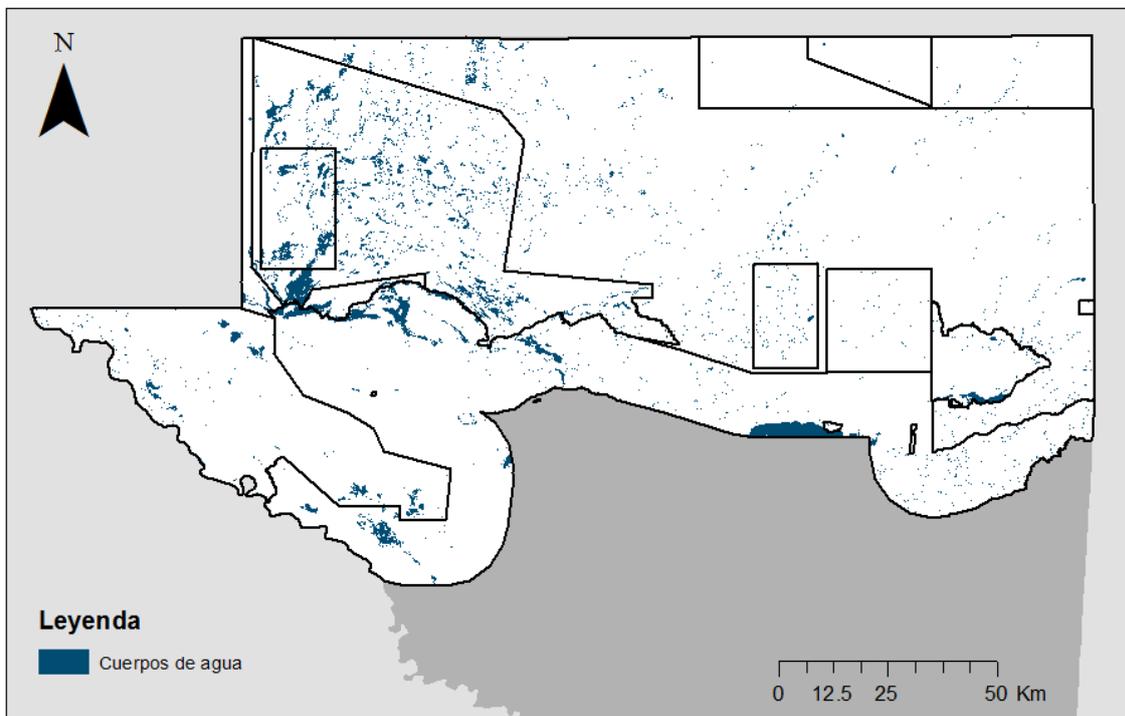


Figura 3. Mapa del sistema hídrico en la Reserva de Biosfera Maya

Para la elaboración del mapa de la distancia al borde de la cobertura forestal, se empleó el mapa de la dinámica de la cobertura forestal a escala mundial desarrollado por Hansen y colaboradores (2013). Este mapa fue transformado a un mapa binario que incluyó áreas con cobertura y áreas sin cobertura para el año 2017. Este mapa fue reclasificado empleando la aplicación de análisis morfológico del patrón espacial (MSPA) del programa *Guidos* versión 2.6, la cual permite clasificar una imagen en siete clases de acuerdo al patrón espacial de sus

componentes en: núcleo, borde, puente, brazo, perforación, lazo e isla (Figura 4). Posteriormente se extrajeron las celdas identificadas como borde para ser utilizadas en análisis posteriores.

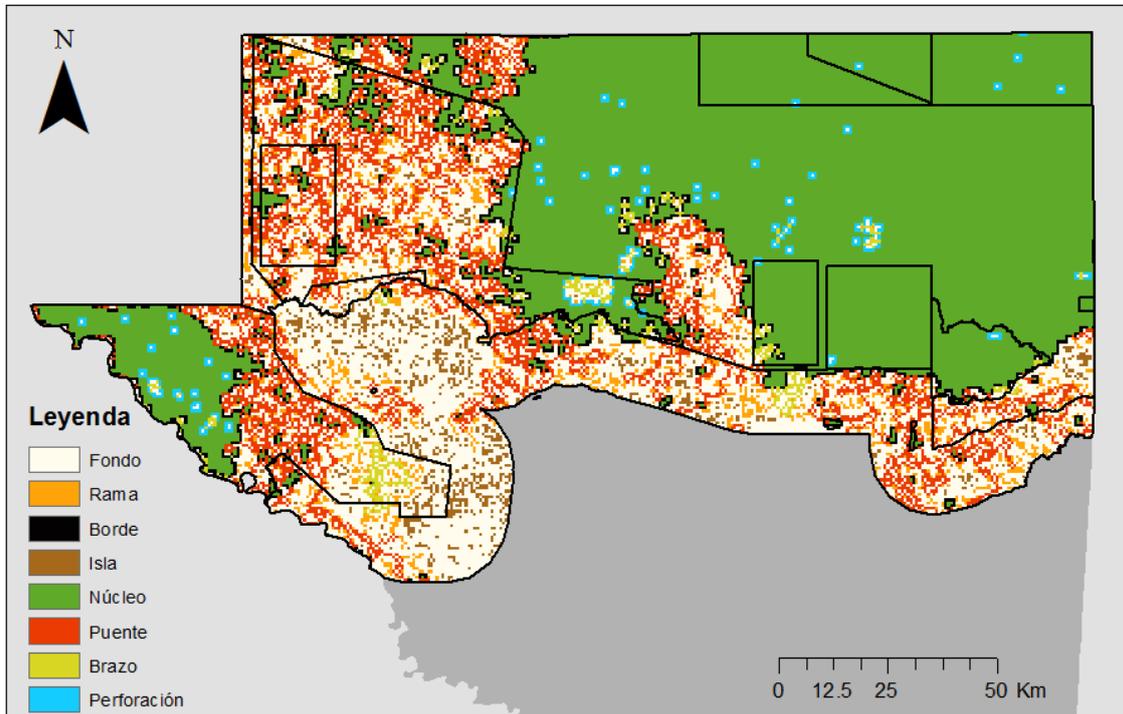


Figura 4. Mapa mostrando la cobertura forestal clasificada de acuerdo a su patrón morfológico espacial

Los mapas de las covariables que representan a las amenazas potenciales para el tapir, fueron elaborados utilizando la herramienta *Cost Distance* de la aplicación *Spatial Analyst* del programa ArcMap versión 10.1, la cual permite estimar la distancia de todos los píxeles hacia una fuente determinada, como por ejemplo centros poblados (vector tipo punto) o caminos (vector tipo línea). Los mapas resultantes fueron editados en formato raster con píxeles de 9 km² y su extensión fue limitada a la RBM (Figura 5). De esta manera fueron estimados los valores de distancia de las seis covariables para cada una de las celdas que fueron muestreadas.

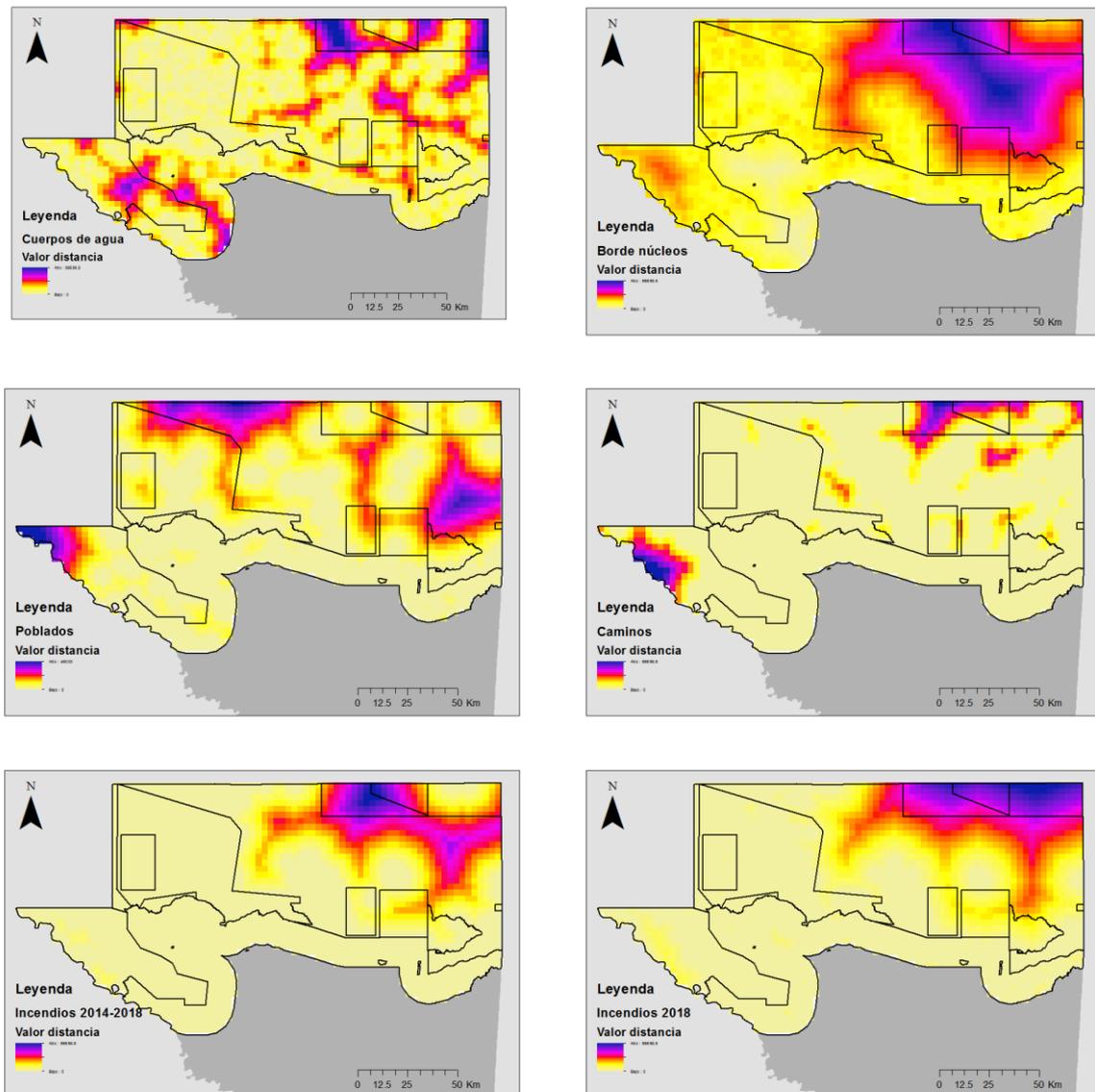


Figura 5. Mapas mostrando la distancia desde: cuerpos de agua, borde de la cobertura forestal, poblados, caminos, puntos de calor 2014-2018 y puntos de calor 2018

Se desarrollaron modelos de ocupación incluyendo las seis covariables y sus combinaciones. Los modelos fueron evaluados con base al AIC, considerando el menor valor como el modelo más ajustado a los datos colectados en campo, lo cual se interpretó que las covariables incluidas en el modelo son a las que responde la ocupación del tapir.

De manera complementaria, se estimó la relación entre la frecuencia de fotocaptura de *T. bairdii* y las variables a través de una regresión lineal. De este modo, se identificaron las variables con mayor influencia sobre el modelo.

14. Vinculación, difusión y divulgación

El proyecto tuvo vinculación a lo interno de la Usac, principalmente a través de la participación de estudiantes de la carrera de Biología que realizaron sus prácticas del Ejercicio docente con la comunidad (EDC) y el Ejercicio profesional supervisado (EPS) con el CDC del Cecon como unidad de práctica. De modo que se fortaleció la labor de la universidad en cuanto a servicio, docencia e investigación, contribuyendo con la formación de nuevos investigadores y profesionales. También se tuvo la vinculación interna en el Cecon, ya que el proyecto fue implementado en conjunto entre las unidades del CDC y la administración del Sistema Universitario de Áreas Protegidas (Suap), y avalado por el Instituto de Investigaciones Químico Biológicas (IIQB) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Con respecto a instituciones externas a la Usac, la vinculación fue en distintos niveles. El primer nivel fue con los administradores y co-administradores de las áreas de estudio, en este caso la FDN en el Parque Nacional Sierra de Lacandón (PNSL), así como el Ministerio de Cultura y Deportes (Micude) a través de la Dirección General de Patrimonio Natural y Cultural y el Conap para los Parques Nacionales Tikal y Yaxhá-Nakum-Naranjo.

La FDN tuvo un papel fundamental en la implementación del muestreo en el PNSL e implementación del proyecto como principal socio del Cecon dentro del Programa para la conservación del tapir y su hábitat en Guatemala. En el caso del Parque Nacional Tikal, en el año 2017 se implementó un primer estudio piloto, como consecuencia del interés de su administración en el desarrollo de programas de monitoreo e investigación. Así mismo, en el año 2017 se tuvo el primer acercamiento con el Parque Nacional Yaxhá-Nakum-Naranjo.

El siguiente nivel fue con las instituciones relacionadas con la investigación y el monitoreo en la RBM, a través de la Mesa de Monitoreo de la Selva Maya, de la cual el Cecon de la Usac es miembro activo. Entre los miembros de la mesa de monitoreo se incluyen: Conap, Micude, FDN, WCS, Fundación ProPetén, Asociación Indígena Bio-Itzá y Asociación Petén Birders Club.

Especialmente aquellas instituciones que forman parte del Grupo Técnico de Acompañamiento (GTA) para el desarrollo del protocolo para el monitoreo del tapir en la

RBM, conformado en el año 2016 y activo durante los años 2017 y 2018, como parte de las actividades del Programa para la conservación del tapir y su hábitat en Guatemala del Cecon y la FDN. El GTA estuvo conformado por el Conap, Asociación ProPetén, Asociación BioItzá, Parque Nacional Tikal, Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo, Arcas y WCS.

Así mismo el proyecto tuvo vinculación a nivel internacional, a través del Programa Mundial para la Conservación de los Tapires del Grupo de Especialistas del Tapir de la UICN y la Fundación Segré el cual fue implementado de manera simultánea en Guatemala, Nicaragua, Colombia, Brasil e Indonesia.

Las fotografías del trabajo de campo, así como obtenidas por las cámaras automáticas, como parte de los resultados, serán divulgadas a través de redes sociales en las páginas de Facebook del CDC-Cecon y del Programa Mundial para la Conservación de los Tapires del TSG y la Fundación Segré. De esta manera se dará a conocer el trabajo que se realice y algunos resultados a una mayor audiencia, incluyendo un público internacional.

Adicionalmente, fotografías obtenidas de especies de fauna de la RBM, serán utilizadas en el portal de los catálogos de especies de fauna del CDC del Cecon, disponible al público en general en el servidor de la Usac en el sitio: cdc.usac.edu.gt , como parte de las actividades de educación ambiental y sensibilización que desarrolla dicho centro.

Los resultados del estudio serán presentados en congresos y simposios nacionales e internacionales relacionados con la temática, incluyendo el próximo Simposio Internacional sobre Tapires del TSG-IUCN.

15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados

A partir del muestreo en campo en las áreas de estudio se obtuvieron un total de 10,039 fotografías las cuales corresponden a 1,058 eventos independientes de fotocaptura (Tabla 2 y Apéndice 3). El área con mayor número de registros independientes fue el BPDF con 610 registros. En todas las áreas de estudio fue posible registrar la presencia de la especie.

Tabla 2
Número de fotografías y eventos independientes por área de estudio

Área de estudio	Número de fotografías	Eventos independientes
Biotopo Protegido Dos Lagunas	7185	610
Parque Nacional Tikal	1799	242
Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo	343	93
Biotopo Protegido San Miguel La Palotada (El Zotz)	712	113
Total general	10,039	1,058

Con los datos obtenidos se construyeron historiales de captura para *T. bairdii* y se estimó la frecuencia de captura en las áreas de estudio (Apéndice 4). A partir de dichos historiales se estimó la ocupación para *T. bairdii* en las áreas de estudio. La mayor ocupación observada (Naïve) fue para el PNYNN con 1.0, seguido del BPDF con 0.86 (Tabla 3). Mientras que para la probabilidad de ocupación estimada, el PNYNN y el BPSMPZ obtuvieron los mayores valores de 1.0 (Tabla 3). Sin embargo, la estimación para el bloque de áreas protegidas Zotz-Tikal-Yaxhá mostró una ocupación observada de 0.56 y una probabilidad de ocupación de .59, ambos valores varían de las estimaciones para cada área por separado.

Una vez obtenidos los valores para las covariables que representan las amenazas potenciales para el tapir, se generaron los modelos de ocupación para *T. bairdii* en las áreas de estudio. En la Tabla 4 se presentan los diez modelos con el valor más bajo de AIC y el modelo con la ocupación y detectabilidad constantes como referencia para el bloque denominado RBM-NE.

El modelo que presentó el menor valor de AIC fue el que emplea las covariables distancia a cuerpos de agua y distancia a poblados.

Tabla 3

Estimaciones de la ocupación de Tapirus bairdii para las áreas de estudio utilizando el modelo nulo

Sitio	Ocupación Naive	Probabilidad de ocupación	Error estándar	Detectabilidad
Yaxhá	1.0	1.0	0.0	.48
Dos Lagunas	0.86	.9	.145	.28
Tikal	0.6	.66	.24	.36
Sierra de Lacandón	0.57	.61	.10	.35
Zotz	0.25	1.0	0.0	.03
Todos	0.5	.54	.07	.21
Zotz-Tikal-Yaxhá	0.56	.59	.13	.33

Tabla 4

Modelos empleados para la estimación de la ocupación de Tapirus bairdii para el bloque denominado RBM-NE

Modelo	AIC	dAIC	AICwgt
Psi(agua+poblados)	181.15	0	0.1159
Psi(agua)	181.81	0.66	0.0833
Psi(borde+agua)	182.14	0.99	0.0706
Psi(agua+caminos)	182.19	1.04	0.0689
Psi(agua+fuego2018)	182.32	1.17	0.0645
Psi(borde+agua+poblados)	182.59	1.44	0.0564
Psi(agua+fuego2014-2018)	182.88	1.73	0.0488

Modelo	AIC	dAIC	AICwgt
Psi(agua+poblados+fuego2018)	182.88	1.73	0.0488
Psi(agua+poblados+fuego2014-2018)	182.92	1.77	0.0478
Psi(.)	189.65	8.50	0.0017

De manera similar, en la Tabla 5 se presentan los diez modelos con los valores más bajos de AIC y el modelo con la ocupación y la detectabilidad constantes. El modelo con el valor más bajo de AIC es el que incluye las covariables distancia a cuerpos de agua y distancia a incendios 2018.

Tabla 5

*Modelos empleados para la estimación de la ocupación de *Tapirus bairdii* para el bloque Zotz-Tikal-Yaxhá*

Modelo	AIC	dAIC	AICwgt
Psi(agua+fuego18)	113.69	0	0.0994
Psi(agua+poblados)	114.14	0.45	0.0794
Psi(agua)	114.38	0.69	0.0704
Psi(borde+agua)	114.65	0.96	0.0615
Psi(agua+caminos)	115.44	1.75	0.0414
Psi(borde+agua+fuego18)	115.46	1.77	0.0410
Psi(agua+fuego2014-2018+fuego18)	115.53	1.84	0.0396
Psi(agua+caminos+fuego2018)	115.58	1.89	0.0386
Psi(agua+poblados+fuego2018)	115.68	1.99	0.0368

Modelo	AIC	dAIC	AICwgt
Psi(borde+agua+poblados)	115.69	2.00	0.0366
Psi(.)	116.69	3.00	0.022

Se desarrollaron análisis de regresión lineal para los valores de frecuencia de fotocaptura a partir de los historiales de captura empleados para la estimación de la ocupación (Figura 6).

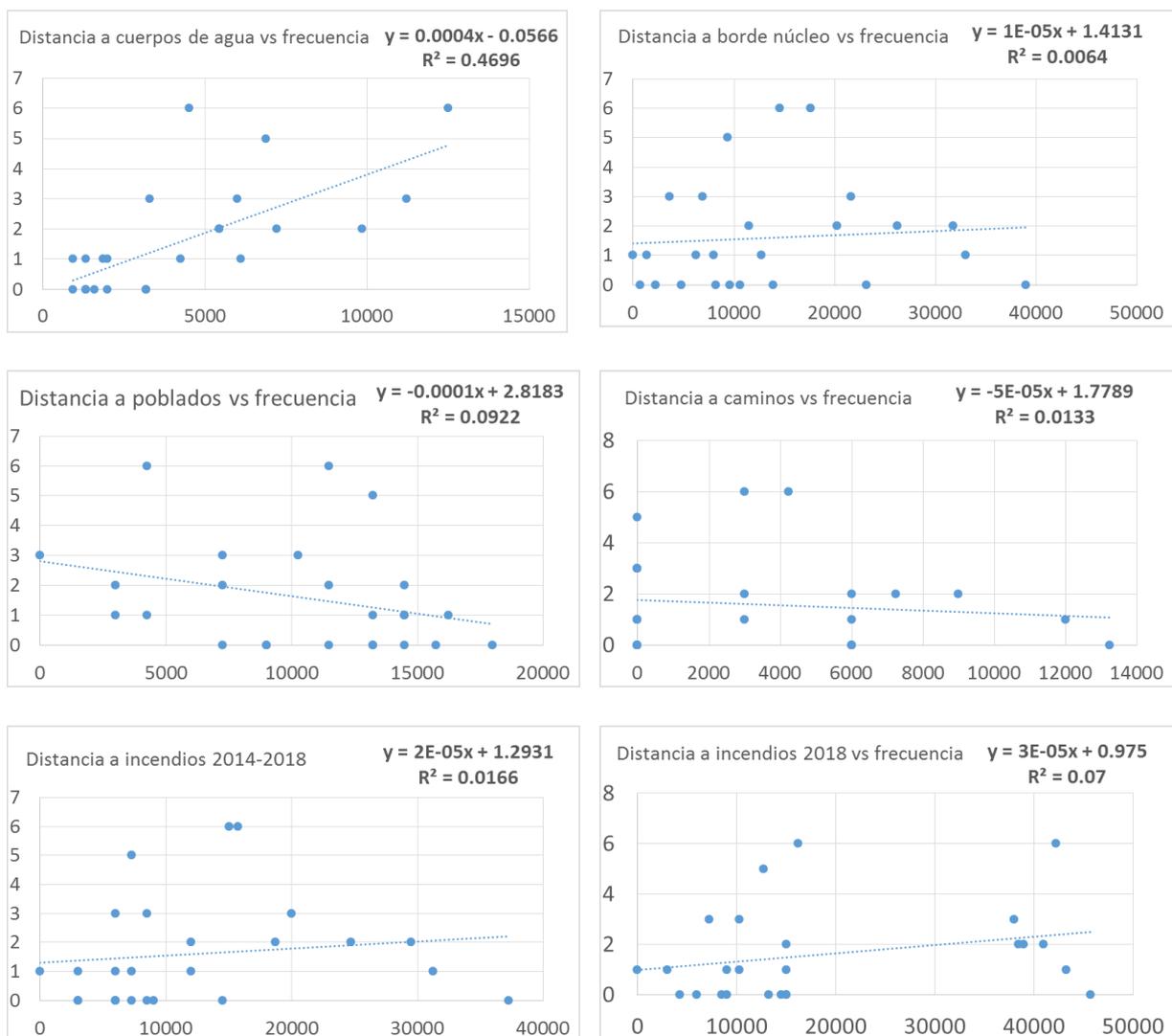


Figura 6. Gráficos de dispersión de las seis covariables y la frecuencia de fotocaptura de *Tapirus bairdii* para el bloque de áreas RBM-NE

16. Análisis y discusión de resultados

Con respecto a la estimación de la ocupación observada (Naïve), el PNYNN y el BPDL mostraron los valores más altos de 1.0 y 0.89 respectivamente. Estos valores son mayores a los reportados en otros estudios con la especie *T. bairdii* que van de 0.26 a 0.81 (Cove et al., 2013; De la Torre, Rivero, Camacho, & Álvarez-Márquez, 2018; McCann, Wheeler, Coles, & Bruford, 2012). El valor más alto estimado en otros estudios corresponde a la Reserva Río Plátano en Honduras con una ocupación de 0.81 (McCann et al., 2012). Esta reserva ubicada en el oeste de Honduras, en conjunto con áreas de Nicaragua, conforman uno de los remanentes boscosos de mayor tamaño en Centroamérica; siendo a la vez un área con bajo impacto antrópico (Hansen et al., 2013). Lo cual podría sugerir que la ocupación del tapir está relacionada positivamente con áreas de gran extensión y bajo impacto antrópico.

Los valores estimados para el Panat, el PNSL y el bloque Zotz-Tikal-Yaxhá, 0.6, 0.57 y 0.56 respectivamente, son similares a los estimados en la Sierra Madre de Chiapas, México, por De la Torre y colaboradores (2018) con una ocupación observada de 0.45, y por MacCann y colaboradores (2012) en áreas de Honduras. Estas áreas representan remanentes boscosos de extensión media, con áreas perturbadas en la cercanía (Hansen et al., 2013). Sugiriendo también que la ocupación del tapir, está relacionada con el tamaño de los remanentes boscosos y su grado de perturbación antrópica.

El valor de ocupación observada más bajo corresponde al BPSMPZ con 0.25, el cual es similar a lo estimado por Cove y colaboradores (2013) en el corredor biológico San Juan-La Selva en Costa Rica, con una ocupación observada de 0.26 y por McCann y colaboradores (2012) en algunas áreas de Honduras. Estas áreas representan remanentes boscosos con una elevada perturbación antrópica (Hansen et al., 2013). Al igual que para los casos anteriores, esto sugiere que la ocupación del tapir puede estar relacionada negativamente con el grado de perturbación antrópica, donde a una mayor perturbación hay una menor ocupación. Llegando al extremo de que la especie esté ausente en remanentes boscosos con alto grado de perturbación (deforestación) y de menor extensión (McCann et al., 2012).

Con respecto a la detectabilidad, los valores estimados son similares a los valores reportados por De la Torre y colaboradores (2018) en México y McCann y colaboradores (2012) en Honduras, con excepción del BPSMPZ con un valor de .03, el cual es mucho menor. Este

valor bajo, explica la estimación de la probabilidad de ocupación de 1.0, aun cuando la ocupación observada fue de 0.25. Sin embargo, dada la diferencia con otras áreas de la RBM, así como la Sierra Madre de Chiapas en México, suponen que la probabilidad de ocupación estimada para el Biotopo está sobreestimada.

En cuanto a los modelos de ocupación incluyendo covariables, el mejor modelo es el que incluyó la distancia a cuerpos de agua. Sin embargo, el segundo modelo incluye tanto la distancia a cuerpos de agua como al borde de la deforestación, presentó una mínima diferencia con el primero (dAIC de 0.24), por lo que se considera este segundo como un mejor modelo pues incluye más covariables que explican la ocupación del tapir.

De la Torre y colaboradores (2018) en Chiapas, México, determinaron que la ocupación fue mejor descrita por las covariables elevación e índice topográfico de Shannon. Estas variables no fueron incluidas en los modelos desarrollados en el presente estudio, pues a diferencia de la Sierra Madre de Chiapas, las áreas de estudio en la RBM, son dominadas por planicies onduladas (García et al., 2009).

Cove y colaboradores (2013) en el corredor biológico San Juan-La Selva en Costa Rica, no encontraron un efecto significativo de las covariables, por lo que evaluaron la ocupación a través del modelo nulo (ocupación y detectabilidad constantes). Sin embargo, las covariables: existencia de área protegida, distancia a poblados, cobertura de bosque y cobertura de plantaciones forestales presentaron influencia en la ocupación por los tapires en los modelos desarrollados. McCann y colaboradores (2012) en Honduras, reportaron que la distancia del borde de las áreas protegidas tuvo un efecto positivo, en el cual, a mayor distancia, mayor probabilidad de que esté ocupado por tapires, coincidiendo este resultado con lo encontrado en el presente estudio en la RBM.

A partir de los modelos de ocupación desarrollados en el presente estudio, se seleccionó como el modelo con un mejor ajuste el que incluye la distancia a cuerpos de agua y hacia los poblados. Este resultado sugiere que la ocupación del tapir está relacionada con áreas de baja perturbación, ya que a mayor distancia de los poblados, mayores valores de ocupación del tapir. En este sentido, se podría considerar a la ocupación del tapir como un indicador de la integridad ecológica en áreas de la RBM, ya que de acuerdo al plan maestro, la accesibilidad

y distancia a los centros poblados determina en gran medida el grado de amenaza de las áreas (Conap, 2015).

El desarrollo de este indicador a partir de un elemento natural de conservación es un aporte valioso para el manejo de la RBM, ya que se podría evaluar su estado de conservación a través del tiempo y la relación del mismo con el grado de perturbación. De modo que con este estudio se está contribuyendo a la implementación del plan maestro de la RBM y a la conservación del tapir como una especie amenazada a nivel nacional y regional.

17. Conclusiones

La especie *Tapirus bairdii* se encuentra presente en las cinco zonas de estudio. Se registró su presencia en el 86% de las estaciones del Biotopo Protegido Dos Lagunas, el 25% para el Biotopo Protegido San Miguel La Palotada, 60% para el Parque Nacional Tikal y el 100% para el Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo.

Se estimó una probabilidad de ocupación de 1.0 para el Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo y el Biotopo Protegido San Miguel La Palotada (El Zotz), .9 para el Biotopo Protegido Dos Lagunas, .66 para el Parque Nacional Tikal, .61 para el Parque Nacional Sierra de Lacandón, .59 para el bloque Zotz-Tikal-Yaxhá y .54 para todas las áreas de estudio juntas.

El modelo de ocupación con el menor AIC (181.15) para el bloque RBM-NE fue el cual incluye las covariables distancia a cuerpos de agua y distancia a poblados. Para el bloque Zotz-Tikal-Yaxhá el modelo con menor AIC (113.69) fue el cual incluye las covariables distancia a cuerpos de agua y distancia a incendios 2018.

18. Impacto esperado

El avance en el establecimiento de un indicador de la integridad ecológica será una importante contribución en el manejo de la RBM. El desarrollo de este indicador permitirá evaluar la efectividad de manejo de la reserva y de cada uno de sus componentes a través del tiempo, buscando detectar cambios positivos o negativos como consecuencia de las acciones de conservación y las amenazas, así como cambios naturales que puedan ocurrir en los ecosistemas. Como se mencionó previamente, de acuerdo al plan maestro vigente para la reserva, el tapir es considerado un elemento de conservación, por lo que, con la implementación de este proyecto se están implementando las acciones identificadas en los programas de investigación y monitoreo para la RBM. Así mismo, se estarán implementando programas de investigación y monitoreo de los Planes Maestros de cada una de las áreas de estudio.

El avance en el establecimiento de un indicador de la integridad ecológica para la RBM, beneficiará de manera directa a las instituciones encargadas de su administración: Conap, la Usac a través del Cecon, el Instituto de Antropología e Historia (Idaeh), co-administración: Fundación Defensores de la Naturaleza, Asociación Bio-Itzá, Concesiones forestales en la Zona de Uso Múltiple (ZUM), relacionadas con la investigación, monitoreo biológico o la conservación: Cemec, WCS, Fundación ProPetén, entre otros.

De manera indirecta y en el largo plazo, con el mejoramiento en la efectividad del manejo a través de la utilización de indicadores biológicos, se beneficiará a la población ubicada dentro de la reserva, así como a miles de guatemaltecos a través de los servicios ambientales que proveen sus ecosistemas y a todo el país, al ser la RBM una fuente de identidad y cultura nacional.

Dada la vinculación del proyecto con el Programa mundial para la Conservación del Tapir del TSG y la Fundación Segré, el cual es ejecutado en cinco países (Indonesia, Brasil, Colombia, Guatemala y Nicaragua), este estudio podría ser replicado en otros países para el monitoreo de las otras tres especies existentes de tapires en el mundo; por lo que la contribución académica de este estudio tendrá un impacto a nivel internacional, fortaleciendo programas de monitoreo biológico que evalúen la integridad ecológica de los recursos naturales.

19. Referencias

- Bailey, L. L., MacKenzie, D. I., & Nichols, J. D. (2014). Advances and applications of occupancy models. *Methods in Ecology and Evolution* 5:1269-1279. doi: 10.1111/2041-210X.12100.
- Carrillo-Reyna, N., Reyna-Hurtado, R., & Schmook, B. (2015). Abundancia relativa y selección de hábitat de *Tapirus bairdii* en las reservas de Calakmul y Balam Kú, Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), Marzo 2015, 202-207.
- Chávez, C., Moguel, J. A., Gónzales, M., & Guiris, D. M. (2011). Abundancia relativa de tres ungulados en la Reserva de la Biosfera “La Sepultura” Chiapas, México. *Therya*, 2(2), 111-124.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas [Conap]. (2015). *Plan Maestro de la Reserva de Biosfera Maya, segunda actualización* (Documento técnico 20-2016). Guatemala: autor.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas [Conap]; Ministerio de Cultura y Deportes -Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural [DGPCyN], & Centro de Estudios Conservacionistas [Cecon]. (2010). *Plan maestro 2009-2013*. Parque Nacional Mirador Río Azul y Biotopo Protegido Naachtún- Dos Lagunas. Guatemala: Autor.
- Constanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28(2017), 1-16.
- Cove, M. V., Pardo, L. E., De La Cruz, J. C., Spínola, R. M., Jackson, V. L., Saénz, J. C., & Chassot, O. (2013). Factors influencing the occurrence of the Endangered Baird’s tapir *Tapirus bairdii*: potential flagship species for a Costa Rican biological corridor. *Oryx*, 48(3), 402–409. doi:10.1017/S0030605313000070
- Cullen, L., Rudran, R., & Valladares-Padua, C. (Eds) (2006). *Métodos de estudos em biología da conservação e manejo da vida silvestre* (segunda edición). Curitiba, Brasil: Universidade Federal do Paraná.
- De la Torre, J. A., Rivero, M., Camacho, G., & Álvarez-Márquez, L. A. (2018). Assessing occupancy and habitat connectivity for Baird’s tapir to establish conservation priorities in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Journal for Nature Conservation*, 41(2018), 16-25.
- Fancy, S. G., & Bennetts, R. E. (2012). *Institutionalizing an effective long-term monitoring program in the US National Park Service*. En Gitzen, R. A., Millsaugh, J. J., Cooper,

- A. B., & Licht, D. (Eds). *Design and analysis of long-term ecological monitoring studies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fancy, S. G., Gross, J. E., & Carter, S. L. (2009). Monitoring the condition of natural resources in US National Parks. *Environmental Monitoring & Assessment* 151(2009), 161-174. Doi: 10.1007/s10661-008-0257-y.
- García, M. J., Jordan, C., O'Farril, G., Poot, C., Meyer, N., Estrada, N., ... & Ruiz-Galeano, M. (2016). *Tapirus bairdii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. doi: e.T21471A45173340.
- García, M. J., Castillo, F., & Leonardo, R. (2011). Evaluación preliminar de la conectividad de hábitat para el tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) en Guatemala. *The Newsletter of the IUCN/SSC Tapir Specialist Group* 20, 20-24.
- García, M. J., González, V. R., & Yaxcal, P. E. (2014). *Levantamiento y evaluación de la línea base para el monitoreo de los efectos del cambio climático en la fenología reproductiva de especies vegetales de importancia ecológica en la Reserva de Biosfera Maya* (Informe final Fodecyt 26-2011). Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología.
- 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), 107-12. doi: 10.12933/therya-16-345, ISSN 2007-3364
- García, M., Leonardo, R., Castillo, F., Gómez, I., & García, L. (2010a). *El Tapir centroamericano (Tapirus bairdii) como herramienta para el fortalecimiento del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas* (Informe final). Guatemala: Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- García, M., Leonardo, R., Gómez, I., García, L., & Castillo, F. (2010b). Los Biotopos Universitarios como sitios prioritarios para la conservación del hábitat del tapir (*Tapirus bairdii* Gill.) en Guatemala. *Ciencia y Conservación* 1, 32-39.
- García, M., Leonardo, R., García, L., & Gómez, I. (2009). *Estado actual de conservación del Tapir (Tapirus bairdii) en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas* (Informe Final). Guatemala: Fideicomiso Nacional para la Conservación.
- García, M., Leonardo, R., Gómez, I., & García, L. (2008a). Estado actual de conservación del tapir (*Tapirus bairdii*) en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas. *Mesoamericana* 12 (3), 67.
- García, M., Leonardo, R., Gómez, I., & García, L. (2008b). *Estado actual de conservación del Tapir (Tapirus bairdii) en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas* (Informe

- técnico final Fodecyt 120-06). Guatemala: Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología.
- García, M. J., López, J. E., & Ramírez, M. F. (2015a). Regeneración natural de la vegetación como base para el desarrollo de estrategias de restauración ecológica en tres Biotopos protegidos en la Reserva de Biosfera Maya, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud* 2(1), 53-64.
- García, M. J., López, J. E., & Ramírez, M. F. (2015b). *Dinámica de la regeneración natural de un bosque tropical como fundamento para el desarrollo de estrategias de restauración ecológica en la Reserva de Biosfera Maya* (Informe final Digi 3.57). Guatemala: Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Godínez, O. (2014). *Patrones de actividad espacio-temporales de los ungulados de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México* (Tesis de licenciatura). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Thau, D., ... Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- Hines, J. E. (2006). PRESENCE- Software to estimate patch occupancy and related parameters. USGS-PWRC.
- Laterra, P., Jobbágy, E. G., & Paruelo, J. M. (2011). *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires: Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- McCann, N. P., Wheeler, P. M., Coles, T., & Bruford, M. W. (2012). Rapid ongoing decline of Baird's tapir in Cusuco National Park, Honduras. *Integrative Zoology*, 2012 December, 7(4), 420-428. doi: 10.1111/j.1749-4877.2012.00312.x.
- MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Hines, J. E., Knutson, M. G., & Franklin, A. B. (2003). Estimating site occupancy, colonization, and local extinction when a species is detected imperfectly. *Ecology* 84(8), 2200-2207.
- MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Royce, J. A., Pollock, K. H., Bailey, L. L. R., & Hines, J. E. (2006). *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Oxford: Elsevier.
- MacKenzie, D. I., & Royle, J. A. (2005). Designing occupancy studies: general advice and allocating survey efforts. *Journal of Applied Ecology* 42, 1105-1114.

- Naranjo, E. J. (2009). Ecology and conservation of Baird's tapir in Mexico. *Tropical Conservation Science*, 2(2), 140-158.
- Naranjo, E. J. (2018). Baird's tapir ecology and conservation in Mexico revisited. *Tropical Conservation Science*, 2(2), 140-158.
- Naranjo, E. J., Amador-Alcalá, S. A., Falconi-Biones, F. A., & Reyna-Hurtado, R. A. (2015). Distribución, abundancia y amenazas a las poblaciones de tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) y pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*) en México. *Therya*, 2015, 6(1), 227-249. Doi: 10.12933/therya-15-246, ISSN 2007-3364.
- National Aeronautics and Space Administration [NASA] (2018). Earth Observation Data, LANCE: NASA Near Real-Time Data and Imagery, Fire Information for Resource Management System (FIRMS). Descargado de: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>.
- Nichols, J. D., & Williams, B. K. (2006). Monitoring for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 21(12), 668-673.
- Noss, R. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4, 355-364.
- O'Dell, T., Garman, S., Evenden, A., Beer, M., Nance, E., Perry, D., DenBleyker, R., ..., Thomas, L. (2005). *Northern Colorado Plateau inventory and monitoring network, vital signs monitoring plan*. Moab: U.S. Department of the Interior, National Park Service.
- O'Farrill, G., Galetti, M., & Campos-Arceiz, A. (2012). Frugivory and seed dispersal by tapirs: an insight on their ecological role. *Integrative Zoology*, 8(1), 4-17.
- Pérez-Cortéz, S., Enríquez, P., Sima-Panti, D., Reyna-Hurtado, R., & Naranjo, E. J. Influencia de la disponibilidad de agua en la presencia y abundancia de *Tapirus bairdii* en la selva de Calakmul, Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(3), 753-761.
- Pérez-Cortéz, S., & Matus, E. (2010). El tapir *Tapirus bairdii* en la región sureste del Área de Protección de Flora y Fauna Bala'an Ka'ax, Quintana Roo, México. *Therya*, 1, 137-144.
- Reid, F. A. (2009). *A field guide to the mammals of Central America and Southern Mexico*. New York: Oxford University Press.
- Sandoval-Serés, E., Reyna-Hurtado, R., Briceño-Méndez, M., & de-la-Cerda-Vega, R. (2016). Uso de aguadas y abundancia relativa de *Tapirus bairdii* en la región de

- Calakmul, Campeche, México. *Therya*, 2016, 7(1). Doi: 10.12933/therya-16-349, ISSN 2007-3364.
- Sarr, D. A., Odion, D. C., Mohren, S. R., Perry, E. E. , Hoffman, R. L., Bridly, L. K., & Merton, A. A. (2007). *Klamath network vital signs monitoring plan*. Ashland: U.S. Department of the Interior, National Park Service.
- Schank, C., Mendoza, E., García, M. J., Cove, M. V., Jordan, C. A., O'Farrill, G., ... & Leonardo, R. (2015). Integrating current range-wide occurrence data with species distribution models to map the potential distribution of Baird's Tapir. *The Newsletter of the IUCN/SSC Tapir Specialist Group* 24, 15-30.
- Wilson, D. E., & Reeder, D. M. (Eds). (2005). *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference* (3rd ed), Johns Hopkins University Press.
- Tobler, M. (2013). *Camera Base, User Guide Version 1.7*.
- Yoccoz, N. G., Nichols, J. D., & Boulinier, T. (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution*, 16 (8), 446-453.

20. Agradecimientos

Se agradece a todas las personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo de esta investigación, en especial a: **Estudiantes EDC y EPS Usac** - Carlos Gaitán, Mynor Sandoval, Santiago Zetina, Andrid Ramírez, Pablo González, Valeria Barrera, Usi'j Bá, Andrea Paz, Melanie Ortiz y Manuela Ramírez. **Cecon/Usac Biotopos de Petén** - Saúl Castillo, Darwin Castillo, Jaime, Arturo Palacios, Mario Chun, Isidro Meléndrez, Byron Cruz, Víctor Hernández, Miguel Hernández, Carlos Tzul, Jaime Gutiérrez, Jaury Morales, Juan P. Najarro, Marvin García, Marvin Tobar, Renán Soto, Fredy Bedoya, Elvis Solís, Erwin Mayen, Marvin Ochaeta, Luis F. Rodas, Juan José Romero y Marvin Rosales. **Parque Nacional Sierra de Lacandón** - Nery Jurado, Victorio E. Cohuoj, Gregorio López, Pánfilo R. Hernández, César A. Cuyush, Belarmino García, Antonio Urizar, Juan B. Zepeda, César I. Contreras, Alfredo López, Jorge Salas, Bartolo D. Méndez, Moisés Choc, Edwin E. Vin, Omar Méndez y Verena Shüller. **Parque Nacional Tikal** - Cristel Pineda, Samuel Ortega, Esdras García, Blas Ochaeta, Regino Arévalo y José Robar. **Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo** – Jorge Mario Vásquez, José Leonel Ziesse, Lorena Lobos, Jorge Ortíz, Rubén Solórzano, Heronías Mejía, José Luis Díaz, Subteniente Jorge Marcos, Manuel Barrios Hernández, Ricardo Choc, Manuel Caal, Roberto Caal y Rosalío Rivas

21. Apéndice

Apéndice 1. Fotografías de las áreas de estudio



Fotografía 1. Aguada en el Biotopo Protegido Dos Lagunas



Fotografía 2. Aguada en el Biotopo Protegido San Miguel La Palotada (El Zotz)



Fotografía 3. Arroyo Negro en el Parque Nacional Tikal



Fotografía 4. Aguada en el Parque Nacional Tikal



Fotografía 5. Río Holmul en el Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo



Fotografía 6. Aguada en el Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo

Apéndice 2. Fotografías del trabajo de campo en las áreas de estudio



Fotografía 1. Trabajo de campo en el Biotopo Protegido San Miguel La Palotada



Fotografía 2. Participantes en el trabajo de campo en el Biotopo Protegido Dos Lagunas



Fotografía 3. Trabajo de campo en el Parque Nacional Tikal



Fotografía 4. Trabajo de campo en el Parque Nacional Tikal



Fotografía 5. Trabajo de campo en el Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo



Fotografía 6. Trabajo de campo en el Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo

Apéndice 3 Fotografías de *Tapirus bairdii* en las áreas de estudio



Fotografía 1. Tapir en el Biotopo Protegido Dos Lagunas



Fotografía 2. Tapir en el Biotopo Protegido San Miguel La Palotada (El Zotz)



Fotografía 3. Tapir en el Parque Nacional Tikal



Fotografía 4. Tapir en el Parque Nacional Tikal



Fotografía 5. Tapir en el Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranja



Fotografía 6. Tapir en el Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranja

Apéndice 4 Tabla con los historiales de captura y frecuencia de captura para *Tapirus bairdii* en las áreas de estudio

Sitio	Estación	Muestreo									Frecuencia de captura
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	
Biotopo Protegido Dos Lagunas	Dos Lagunas 1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
	Dos Lagunas 2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2
	Dos Lagunas 3	1	0	1	0	0	0	1	0	0	3
	Dos Lagunas 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dos Lagunas 5	0	1	1	0	1	1	0	1	1	6
	Dos Lagunas 6	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2
	Dos Lagunas 7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Parque Nacional Tikal	Panat 1	1	0	0	0	0	0	-	-	-	1
	Panat 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Panat 3	0	0	1	1	1	0	1	1	1	6
	Panat 4	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0
	Panat 5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2
Parque Nacional Yaxha Nakum Naranjo	Yaxhá 1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	5
	Yaxhá 2	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3
	Yaxhá 3	-	-	-	-	0	0	1	1	1	3

Sitio	Estación	Muestreo									Frecuencia de captura
	Yaxhá 4	1	-	-	-	-	-	0	-	-	1
	Yaxhá 5	1	-	-	0	-	-	-	-	-	1
Biotopo Protegido San Miguel La Palotada (El Zotz)	Zotz 1	0	0	0	0	0	0	-	-	-	0
	Zotz 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zotz 3	0	0	0	0	0	0	-	-	-	0
	Zotz 4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Zotz 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zotz 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zotz 7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	Zotz 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Listado de los integrantes del equipo de investigación

Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	Firma
Manolo José García Vettorazzi	

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de personal	Pago		Firma
			Sí	No	
Manolo José García Vettorazzi	Coordinador	20020921	X		
Vivian Roxana González Castillo	Investigadora	20131476		X	
Gerber Daniel Guzmán Flores	Auxiliar II	20170847		X	

Lic. Manolo José García Vettorazzi

Coordinador Proyecto de investigación

Ing. Agr. Saúl Guerra Gutiérrez
Programa Universitario de Investigación
en Recursos Naturales y Ambiente

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas