

SITIOS PERMANENTE DE CALIBRACIÓN Y MONITOREO DE LA BIODIVERSIDAD

Para analizar el efecto de la degradación antropogénica de los ecosistemas y de sus servicios ambientales en México



Un proyecto auspiciado por la CONABIO

Responsables del proyecto

Michael F. Schmidt, Dirección General de Proyectos Interinstitucionales, CONABIO

Rodolfo Dirzo, Department of Biology, Stanford University y CONABIO

Equipo técnico y áreas de especialización

Mariana Munguía Carrara- Doctorado en Ciencias

Julián A. Equihua - Maestría en Geomática

Oliver López- Doctorado en Ciencias de la Tierra

Everardo Robredo – Maestría en Ciencias Biológicas

Santiago Martínez - Maestría en Matemáticas

Pedro Díaz – Licenciatura en Biología

Marcelo Aranda - Maestría en Manejo de Vida Silvestre

María Teresa Ortiz - Maestría en Estadística

Edgar Omar Miranda – Licenciatura en Ciencias de la Computación

Instituciones Colaboradoras y de Asesoría

Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN)

Instituto de Biología, UNAM (IBUNAM)

Instituto de Ecología, A.C. (INECOL)

The Nature Conservancy (TNC)

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM

Facultad de Medicina, UNAM



Ciudad de México, 2019

CONTENIDO

ANTECEDENTES	5
SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE BIODIVERSIDAD	6
SITIOS PERMANENTES DE CALIBRACIÓN Y MONITOREO DE LA BIODIVERSIDAD (SIPECAM) PARA EL SNMB	9
OBJETIVOS	11
MÉTODO	13
Detección de murciélagos mediante grabaciones ultrasónicas	18
Captura de roedores y análisis de riesgos de zoonosis	18
RESULTADOS ESPERADOS CON LA PRESENTE PROPUESTA	22
RESULTADOS EN ETAPAS POSTERIORES A LA PRESENTE PROPUESTA	24
ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA PRESENTE PROPUESTA	25
FASES DE LAS ACTIVIDADES E INDICADORES DE AVANCE	27
ANEXOS	29
LITERATURA CITADA	57



ÍNDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. CAUSAS DE LA DEFAUNACIÓN. LOS FACTORES ANTROPOGÉNICOS QUE IMPULSAN LA PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD SE REFLEJAN ADECUADAMENTE EN EL CASO DE LA DEFAUNACIÓN, INCLUYENDO EL IMPACTO DE CADA UNO DE ELLOS DE MANERA INDIVIDUAL, ASÍ COMO EL IMPACTO COMBINADO (SINERGIAS, EFECTOS INDIRECTOS, RETROALIMENTACIONES MÚLTIPLES) DE ELLOS. ESTA MÉTRICA RARAMENTE SE HA USADO PARA EL MONITOREO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS, A PESAR DE QUE LA LITERATURA RECIENTE DEJA VER QUE NO SOLO ES UN BUEN INDICADOR DE LA CONSERVACIÓN BIOLÓGICA, SINO DE LOS SERVICIOS QUE PROVEEN LOS ECOSISTEMAS, INCLUYENDO LA REGULACIÓN DE RIESGOS DE ENFERMEDADES ZONÓTICAS. SE CONOCE, POR EJEMPLO, QUE DICHO RIESGO AUMENTA CUANDO LA DEFAUNACIÓN DE ESPECIES DE TALLA MEDIANA/GRANDE TRAE CONSIGO EL INCREMENTO POBLACIONAL DE ESPECIES DE ROEDORES MENORES, PORTADORES CANÓNICOS DE PATÓGENOS QUE AFECTAN AL HUMANO. ESTA INCLUSIÓN DEL ELEMENTO FAUNÍSTICO EN EL MONITOREO REPRESENTA UNO DE LOS ASPECTOS INNOVADORES DE SiPeCAM. 8
- FIGURA 2. CÚMULOS, MÓDULOS Y NODOS DEL SiPeCAM. EJEMPLO DE LOCALIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE CÚMULOS (EN ESTE CASO EN EL SURESTE DE MÉXICO) INCLUYENDO NÓDULOS BAJO CONDICIONES CONTRASTANTES DE INTEGRIDAD ECOSISTÉMICA (IE). LOS PUNTOS AZULES REPRESENTAN LOS NODOS DEL MÓDULO CON UN ALTO VALOR DE IE, Y EL MÓDULO PAR CON PUNTOS EN ROJO REPRESENTA SITIOS CON CONDICIÓN DE MENOR VALOR DEL IE. SE ELEGIRÁN 5 NODOS DE CADA UNO DE LOS DOS NIVELES DE IE (COLORES ROJO, AZUL) POR CÚMULO, DE ACUERDO A SU ACCESIBILIDAD Y SEGURIDAD. 13
- FIGURA 3. NÚMERO DE HERRAMIENTAS DE MONITOREO. DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIAS Y SECAS SE MANTENDRÁ, DE FORMA PARALELA, EL MISMO NÚMERO DE CÁMARAS TRAMPA ACTIVAS, MICRÓFONOS Y TRAMPAS SHERMAN (PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS DE ROEDORES) EN AMBOS MÓDULOS (CONSERVADO, CON ALTO VALOR DEL ÍNDICE IE, Y DEGRADADO, CON MENOR VALOR DEL ÍNDICE IE). 14
- FIGURA 4. DISEÑO DE MUESTRO ESPACIALMENTE EXPLÍCITO. PANEL SUPERIOR: DISTRIBUCIÓN NACIONAL DE CÚMULOS ASIGNADOS ESPACIALMENTE PARA TENER REPETICIONES REPRESENTATIVAS DE CADA ECOSISTEMA (CON PARES DE SITIOS ADYACENTES CON CONDICIÓN DE DEGRADACIÓN DIFERENTE; PUNTOS ROJOS Y AZULES). LOS SIETE ECOSISTEMAS MUESTREADOS SERÁN: MATORRAL XERÓFILO, BOSQUE TEMPLADO, SELVA HÚMEDA, SELVA SECA, BOSQUE MESÓFILO, MANGLARES, Y PASTIZALES. PANEL INFERIOR: TABLA DE PORCENTAJE DE SUPERFICIE CUBIERTA POR CADA ECOSISTEMA, NÚMERO PROPORCIONAL DE PARES RESPECTO AL TOTAL (40) CON BASE EN LA SUPERFICIE TERRITORIAL OCUPADA, NÚMERO DE PARES RE-DISTRIBUIDOS PARA PODER ASIGNAR UN MÍNIMO DE 3 REPETICIONES POR ECOSISTEMA (COLUMNA #P, AZUL CLARO). EL NÚMERO DE PARES POR ECOSISTEMA DE ENTRE LOS CUALES SE PUEDEN SELECCIONAR LOS 40 REQUERIDOS EN LA PRESENTE PROPUESTA SE INDICA EN LA COLUMNA #P (AZUL OSCURO); NÚMERO TOTAL DE NODOS POR ECOSISTEMA, DE ENTRE LOS CUALES SE PUEDE SELECCIONAR EL NÚMERO REQUERIDO EN LA PROPUESTA (COLUMNA # NODOS) Y NÚMERO DE NODOS POR ECOSISTEMA QUE COINCIDEN ESPACIALMENTE CON ANPs FEDERALES (COLUMNA NÓDOS EN ANP), Y PORCENTAJE DE NODOS POR ECOSISTEMA QUE CAEN EN ANPs FEDERALES (COLUMNA % NODOS EN ANP). 16

ANTECEDENTES

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 establece acciones y metas para detener la pérdida y degradación de los ecosistemas, congruente con un planteamiento rector de impulsar un uso sustentable del capital natural de México. Este Plan de Desarrollo requiere medir los avances del estado de conservación de los ecosistemas del país. En ese aspecto, un avance nacional importante es la implementación del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) en los últimos diez años. Bajo la coordinación de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el INFyS incluye un muestreo de 26,000 unidades de estudio (conglomerados) de los ecosistemas del país, para cada uno de los cuales se obtienen datos de cerca de 200 variables estructurales y florísticas, así como información cualitativa de las condiciones del sitio, tales como rasgos orográficos, altitud, pendiente, fisiografía, uso de suelo, profundidad del suelo, presencia de erosión-degradación, y su grado de afectación.

Los resultados del análisis de esta información, entre otras cosas, alimentan discusiones internacionales sobre el estado de la vegetación en México y sobre la contribución del cambio de uso de suelo en este país a las emisiones de gases de efecto invernadero. También revelan que es posible caracterizar y monitorear los ecosistemas presentes en el país con una resolución alta y en ciclos anuales que ayuden a impulsar políticas públicas efectivas en el uso sustentable del capital natural.

Asimismo, desde 2014 el gobierno federal, a través de la CONAFOR, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y el Instituto de Ecología A.C. (INECOL), con el apoyo del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), creó el Sistema Nacional de Monitoreo de Biodiversidad (SNMB), cuyo diseño de muestreo está basado en el INFyS. Recientemente, el SNMB ha incorporado variables adicionales a las del INFyS, referentes al componente faunístico, así como a amenazas críticas a la biodiversidad, tales como la presencia de especies invasoras. El SNMB permite detectar i) sitios en los ecosistemas de México que, por su alta integridad, podrían contribuir a compensar la pérdida de la biodiversidad en otras zonas, y ii) regiones de importancia ecológica que requieren restauración. Es de destacar que en el marco de este nuevo sistema se ha establecido además una cooperación exitosa que involucra instituciones académicas, de gobierno, y actores de diversas Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC), como se menciona al inicio de este párrafo.

El objetivo del SNMB es contar con una fuente de datos de una cobertura temporal y espacial amplia y sistemática que permita evaluar los cambios en el estado de la biodiversidad, considerando aspectos clave del funcionamiento de los ecosistemas. Esto es importante porque los estados funcionales se reflejan en los llamados servicios ambientales (o servicios de los ecosistemas) que producen, y de los cuales se beneficia la sociedad. Asimismo, la información del SNMB permite detectar los sitios que requieran de acciones de recuperación de la cobertura vegetal y aporta perspectivas pertinentes para la toma de decisiones referentes a la restauración ambiental, o al combate de especies invasoras en el país. Los resultados que surgen del análisis de los datos del SNMB combinan: imágenes satelitales, datos anuales de cobertura y cambio de cobertura de suelo de muy alta resolución espacial generados con el sistema MAD-Mex, así como información del INFyS incluyendo, recientemente, información sobre la fauna (ver Anexo 1). De esta manera se busca contar con información robusta para estimar mejor la magnitud de la degradación (o, su contraparte, la conservación) de los ecosistemas en México y, a partir de esto, tomar decisiones para una restauración exitosa, así como establecer políticas públicas que ayuden a disminuir las trayectorias de pérdida de la biodiversidad nacional.

Los resultados del análisis de los datos del SNMB han permitido que instituciones académicas, como el Instituto de Ecología A.C., desarrollen indicadores del estado de la biodiversidad, entre los que sobresale el Índice de Integridad Ecosistémica (Anexo 2) (http://www.biodiversidad.gob.mx/sistema_monitoreo/), indicadores que a su vez permiten a los tomadores de decisiones conocer y planear acciones ad hoc, partiendo del conocimiento del estado actual de los ecosistemas. Por ejemplo, la CONANP ha comenzado a evaluar la efectividad en sus acciones de manejo en las áreas protegidas federales con base en este índice. Esta información alimentará reportes nacionales para el cumplimiento del marco legal, así como informes internacionales requeridos en instrumentos como los Objetivos de Desarrollo Sustentable, la Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México, y las Metas de Aichi, todos estos en el marco de los acuerdos internacionales sobre el cambio climático, la desertificación y la pérdida de biodiversidad (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

UNFCCC, Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, UNCCD y Convención de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, CBD, respectivamente).

El SNMB ha iniciado con resultados alentadores a partir del compromiso por parte de la CONABIO, CONAFOR y CONANP para mantener esta sinergia interinstitucional en el largo plazo. Para que esto sea posible, se necesita robustecer el diseño y la articulación de los tres sistemas mencionados (análisis de uso del suelo, inventario forestal y monitoreo de la biodiversidad: MAD-Mex, INFyS, SNMB, respectivamente) a partir del establecimiento de sitios permanentes para: i) calibrar el desempeño de los sitios existentes del INFyS y SNMB (en el sentido de comparar este último con los resultados que se obtendrán en el nuevo programa que aquí se propone, SiPeCaM), ii) analizar la sensibilidad de los indicadores que subyacen a los procesos de degradación ecológica, y iii) incorporar en el esfuerzo un componente de servicios ambientales provistos por la biodiversidad, incluyendo, por primera vez, la posible regulación de enfermedades zoonóticas. En particular, se enfatizará, como indicador importante, el estado de las comunidades de animales usando una nueva métrica, la defaunación, concepto equivalente a su contraparte vegetal, la deforestación (Dirzo et al., 2014). La investigación reciente ha demostrado que esta nueva métrica refleja de manera complementaria a la deforestación, los multifacéticos efectos del impacto antropogénico (Figura 1). Así, la respuesta del componente faunístico en sitios con diferente integridad ecosistémica (impulsados por el cambio de uso del suelo, la sobre explotación, las especies invasoras y el cambio climático, así como las interacciones entre todos estos) permitirá complementar las evaluaciones más tradicionales de énfasis vegetal, y reconocer la variación en el estado forestal y de la fauna entre los ecosistemas en México. Como describiremos adelante, además de incorporar el aspecto de la fauna desde diferentes perspectivas, el sistema de calibración propuesto permitirá apreciar qué componentes son clave para enfocar de manera eficiente los recursos y esfuerzos de monitoreo de la biodiversidad y la conservación de los ecosistemas de cara al futuro.

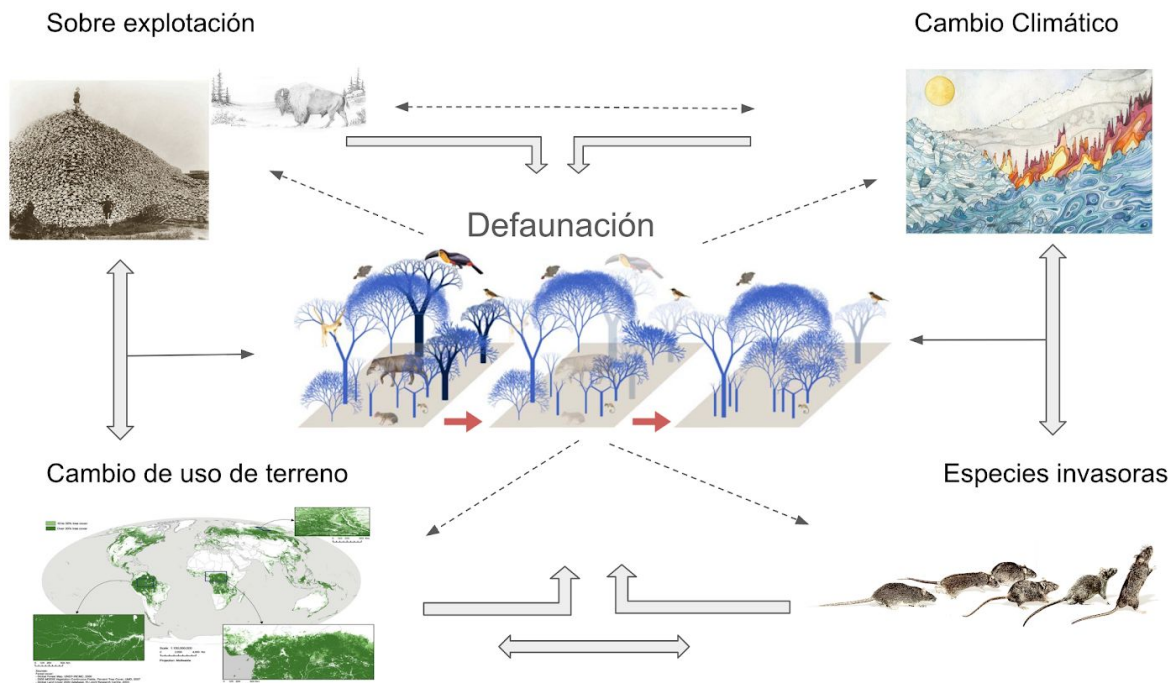


FIGURA 1. CAUSAS DE LA DEFAUNACIÓN. LOS FACTORES ANTROPOGÉNICOS QUE IMPULSAN LA PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD SE REFLEJAN ADECUADAMENTE EN EL CASO DE LA DEFAUNACIÓN, INCLUYENDO EL IMPACTO DE CADA UNO DE ELLOS DE MANERA INDIVIDUAL, ASÍ COMO EL IMPACTO COMBINADO (SINERGIAS, EFECTOS INDIRECTOS, RETROALIMENTACIONES MÚLTIPLES) DE ELLOS. ESTA MÉTRICA RARAMENTE SE HA USADO PARA EL MONITOREO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS, A PESAR DE QUE LA LITERATURA RECIENTE DEJA VER QUE NO SOLO ES UN BUEN INDICADOR DE LA CONSERVACIÓN BIOLÓGICA, SINO DE LOS SERVICIOS QUE PROVEEN LOS ECOSISTEMAS, INCLUYENDO LA REGULACIÓN DE RIESGOS DE ENFERMEDADES ZONÓTICAS. SE CONOCE, POR EJEMPLO, QUE DICHO RIESGO AUMENTA CUANDO LA DEFAUNACIÓN DE ESPECIES DE TALLA MEDIANA/GRANDE TRAE CONSIGO EL INCREMENTO POBLACIONAL DE ESPECIES DE ROEDORES MENORES, PORTADORES CANÓNICOS DE PATÓGENOS QUE AFECTAN AL HUMANO. ESTA INCLUSIÓN DEL ELEMENTO FAUNÍSTICO EN EL MONITOREO REPRESENTA UNO DE LOS ASPECTOS INNOVADORES DE SiPeCAM.

En términos generales, la hipótesis de trabajo subyacente a esta propuesta es que entre más degradado se encuentre un sistema, más alto será el costo para la sociedad el contrarrestar tal degradación ambiental, por ejemplo, mediante la inversión en programas de restauración. Este costo supone la implementación de medidas tales como la reforestación, control de fuego, sanidad forestal, el evitar pérdida de abastecimiento de servicios ecosistémicos para la sociedad incluyendo la polinización de plantas de

valor agrícola, medicinal u ornamental; purificación y almacenamiento de agua; protección costera; y la protección de la salud humana ante las cada vez más prominentes infecciones zoonóticas—un aspecto poco entendido actualmente, y al que esta propuesta busca contribuir explícitamente.

SITIOS PERMANENTES DE CALIBRACIÓN Y MONITOREO DE LA BIODIVERSIDAD (SIPECAM) PARA EL SNMB

Esta propuesta se enfoca en fortalecer el SNMB a partir de i) un estudio cuantitativo que coadyuve a dar robustez científica al SNMB, ii) una calibración rigurosa de los parámetros colectados por el SNMB que permita definir con alta precisión el estado de los ecosistemas a lo largo del gradiente degradación-conservación, y iii) una evaluación robusta del significado de la integridad ecológica en el contexto de los servicios ambientales, enfatizando en particular servicios referentes a la salud humana.

La calibración proveerá estimaciones estadísticamente confiables a los reportes nacionales e internacionales que se generan a partir de los programas federales de monitoreo forestal y ecológico. También permitirá distinguir los parámetros más relevantes del monitoreo de la biodiversidad, como frecuencia mínima de muestreo, tiempo de seguimiento del muestreo, número y localización de los sensores utilizados (cámaras, grabadoras de sonidos bióticos), elementos todos que son de relevancia para sustentar el financiamiento más efectivo, y a largo plazo, del SNMB.

Además de informar sobre la efectividad de los sitios del SNMB, el SiPeCaM generará resultados complementarios, a partir del cual deriven análisis que evalúen la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios ambientales a la sociedad (incluyendo la regulación de almacenes de carbono, agua, salud humana, control de plagas, polinización, así como seguridad ante desastres naturales).

Un aspecto sobresaliente de la calibración propuesta es que permitirá estimar el grado de incertidumbre de las mediciones del SNMB sobre atributos faunísticos tales como la presencia/ausencia y diversidad de especies y grupos funcionales, la estructura de las comunidades animales (p. ej., la representación relativa de especies susceptibles/tolerantes al impacto antropogénico – roedores/especies de tamaño corporal grande; Dirzo et al. 2014), los patrones de actividad y comportamiento de las especies registradas, así como implementar un parámetro actualmente muy utilizado como indicador (“proxy”) de la abundancia de una especie particular, el valor de ocupación (“occupancy”) (Weller y Baldwin, 2012; Ahumada et al. 2013; Shannon et al. 2014). La trayectoria temporal de los datos de grabaciones de

sonido ultrasónico (que proporcionan información sobre incidencia de la actividad de murciélagos) y de las imágenes de animales capturados por cámaras trampa, será recogida en el diseño experimental propuesto, el cual contempla incrementar sustancialmente la intensidad temporal de muestreo por sitio. Esto va a permitir establecer parámetros de referencia (i.e. calibración) para el resto del SNMB ejecutado por las instituciones cooperantes (CONAFOR, CONANP y FMCN).

Implementar un programa permanente (letra P en el acrónimo) siempre es un reto mayor en cualquier región o sistema político. Ni los sistemas científicos actuales ni los de gobernanza son adecuados para soluciones permanentes. Hay pocos ejemplos, pero todos ellos a nivel internacional (World Meteorological Organization, World Health Organization) y con un enfoque bien reconocido económico.

Para lograr que SiPeCaM pueda transformarse en un programa permanente se pretende iniciar varios pasos:

- Promoción de la red y invitación a otros usuarios para participar (científicos nacionales e internacionales)
- Involucrar las comunidades locales, los gobiernos estatales y los municipios, generando empleos y concientizar a la gente en el campo de la problemática
- Ligar a SiPeCaM con programas existentes nacionales y estatales (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, INFyS, Inventarios Estatales Forestales y de Suelos, ANPs, Unidades de Manejo y Aprovechamiento, red Comisión Nacional del Agua, etc.) para obtener fondos y lograr una justificación al nivel nacional
- Enlazar a SiPeCaM con varios esfuerzos al nivel internacional como Long Term Ecological Research Network (LTER), etc.
- Cooperar con las grandes instituciones científicas internacionales y ONGs (Smithsonian, Max-Planck, World Wildlife Foundation, Rainforest Foundation, TNC, CI, etc.)

Ya se ha iniciado algunos de estos pasos, por ejemplo se han tenido conversaciones con colaboradores regionales. Entre ellos hay fuertes posibilidades de que entidades como Conservation International y CONANP provean de financiamiento (vía un proyecto GEF) para los siguientes 4 años. Además, The

Nature Conservancy y el Fondo Mexicano de Conservación de la Naturaleza consideran actualmente fondos para coordinadores enfocados en la metodología propuesta por SiPeCaM que emplearán como enlace en su institución con CONABIO principalmente para envío de información a CONABIO y para capacitación de monitores en los sitios en los que ellos tienen influencia.

OBJETIVOS

Con el fin de apuntalar al SNMB, el programa de calibración se enfocará en el componente faunístico de los ecosistemas para, como objetivo general, establecer las condiciones de referencia en los ecosistemas conservados de México, así como identificar la sensibilidad de la fauna en sitios con signos de degradación. Asociado a este se plantean los siguientes objetivos particulares:

- i) evaluar la posible ganancia de información derivada de incrementar los días de muestreo de la fauna, comparativamente (con respecto al protocolo establecido en el SNMB), a través de curvas de “completitud” (“saturation curves”)
- ii) ayudar a definir el esfuerzo mínimo de muestreo necesario para lograr una aproximación cuantitativa de los componentes que determinan la degradación ecológica por tipo de ecosistema, esfuerzo que se basará en un diseño de muestreo de pares de sitios (“matched pairs design”, descrito más adelante) que ayuda a controlar el impacto del “ruido ecológico” introducido por la heterogeneidad ambiental natural, y
- iii) estimar la relevancia de un componente nuevo en el monitoreo de la biodiversidad, animales que operan como hospederos o vectores de patógenos causantes de zoonosis de importancia humana. El foco de este elemento es el grupo de los roedores y otros pequeños mamíferos, así como sus ectoparásitos (pulgas, ácaros, garrapatas). Este tipo de animales raramente (si acaso) forma parte de los sistemas de monitoreo que se llevan a cabo por programas regionales, nacionales o globales. La motivación para incluir este componente de la fauna se basa en la demostración reciente en la literatura de que la degradación ecológica, en términos de la fauna, afecta el servicio ecosistémico (o para usar el término que ahora se propone, “nature contributions to people”, Díaz et al. 2018) de regulación de enfermedades zoonóticas por parte de la biodiversidad (Dirzo et al. 2014).

Objetivos específicos de la presente propuesta

Los objetivos específicos de esta propuesta corresponden a la etapa inicial del proyecto y constan de:

- Reconocer y establecer una red nacional de sitios que servirán como una infraestructura permanente y accesible de sitios de investigación ecológica y de calibración de sensores, tanto remotos como in situ.
- Implementar las unidades de muestreo que conformen la red de los experimentos (pares armonizados; ver más adelante) y sensores básicos descritos en el documento (trampas cámaras, micrófonos y trampas de roedores).
- Construir un sistema de manejo de datos para el almacenamiento, pre-procesamiento, procesamiento y visualización para la revisión y disseminación que permitan manejar la gran cantidad de datos previstos provenientes de estos sitios.
- Analizar los datos según dos enfoques principales:
 1. análisis automatizado de detección de animales en fotos y vía registros de audio, determinación de grupos de animales (gremios u otros), y de la identidad taxonómica actualizada (familia, género, especie).
 2. revisión y edición de imágenes de animales “capturados” mediante herramientas de visualización conducente a una base de datos de detección de especies en foto-trampas.

MÉTODO

Diseño de colecta y herramientas de monitoreo

Como un aspecto innovador, se propone un diseño de colecta de datos por ecosistema con base en pares de sitios adyacentes (“matched-pairs design” o “diseño de pares armonizados”, Zar 2015) que permitan controlar muchos de los factores que covarían con la ubicación de los sitios de monitoreo (Figura 2).

Específicamente, el diseño de pares consistirá en tomar sitios adyacentes, que contrasten sólo en su nivel de degradación (sitio conservado/sitio degradado), ambos bajo las mismas condiciones ecológicas (Figura 2). Con este enfoque se controla el “ruido experimental” o el efecto de “factores de confusión”,

producido por la heterogeneidad espacial. En nuestro diseño, cada par armonizado corresponde a un cúmulo compuesto de 2 módulos contrastantes, y cada módulo a su vez consiste de 5 nodos (sitios) separados entre sí por 5 km de distancia (con base a la malla de las mismas dimensiones del SNMB). Los nodos identificados serán verificados en su grado de integridad ecosistémica mediante parámetros clave de campo, previamente identificados por expertos en cada ecosistema de México. Finalmente, si es válido el contraste entre nodos mediante la observación verifcatoria en campo (“*ground thruthing*”) serán candidatos a ser seleccionados como nodo en el que se implemente el monitoreo.

Dado el diferente tipo de accesibilidad a los diferentes ecosistemas del país, y la diferente movilidad que se espera tener dentro de los mismos (esto debido a la variabilidad en la complejidad de la estructura de la vegetación), el diseño SiPeCaM considera que la distancia entre nodos puede variar de 3 a 5 km en los casos de mayor complejidad en la estructura de la vegetación (como en las selvas o bosques mesófilos), y de 5 a 8 km si la complejidad es menor (como en el caso del matorral xerófilo).

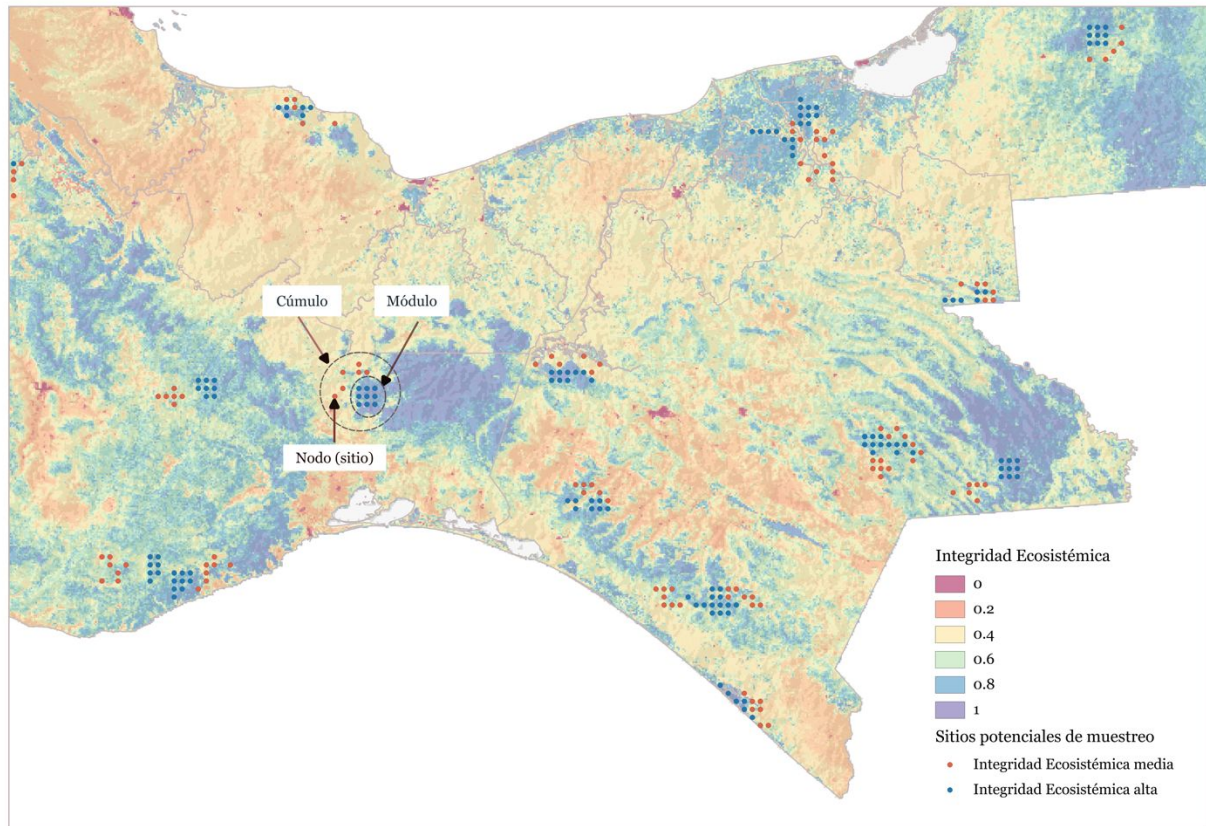


FIGURA 2. CÚMULOS, MÓDULOS Y NODOS DEL SiPeCAM. EJEMPLO DE LOCALIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE CÚMULOS (EN ESTE CASO EN EL SURESTE DE MÉXICO) INCLUYENDO NÓDULOS BAJO CONDICIONES CONTRASTANTES DE INTEGRIDAD ECOSISTÉMICA (IE). LOS PUNTOS AZULES REPRESENTAN LOS NODOS DEL MÓDULO CON UN ALTO VALOR DE IE, Y EL MÓDULO PAR CON PUNTOS EN ROJO REPRESENTA SITIOS CON CONDICIÓN DE MENOR VALOR DEL IE. SE ELEGIRÁN 5 NODOS DE CADA UNO DE LOS DOS NIVELES DE IE (COLORES ROJO, AZUL) POR CÚMULO, DE ACUERDO A SU ACCESIBILIDAD Y SEGURIDAD.

La evaluación del estado de la fauna se hará con base en sensores equivalentes a los que ya se usan en el SNMB (cámaras de foto-trampeo y micrófonos), pero ahora añadiendo una cuadrícula de trampas Sherman (N=50) para captura de roedores, así como sensores meteorológicos para registrar la heterogeneidad ambiental debido a variaciones en condiciones climáticas (p.ej., temperatura y humedad) entre sitios. Cada nodo corresponde a un conjunto de 5 cámaras trampa y 3 micrófonos que operarán por 30 días continuos para la captura de fotografías y sonidos (Figura 3). Después de 30 días de operación, estas herramientas se trasladarán al siguiente nodo vecino, y así sucesivamente se rotarán hasta cubrir los 5 nodos; además, la rotación se hará cubriendo tanto la estación seca como la de lluvias. Las 50

trampas Sherman se colocarán en cada nodo por 3 noches continuas cada mes, hasta completar los 5 nodos por estación seca/lluvia (es decir, abarcando un total de 15 noches por módulo en una estación). Con este diseño se conseguirá un muestreo total de registro con cámaras de al menos 1500 días-trampa; 900 días de grabación sonora y 30 días de colecta de pequeños mamíferos por módulo al año. Las cámaras trampa serán colocadas en los sitios que muestran rastros o sean paso evidente de los mamíferos en la zona de muestreo, o en sitios adyacentes a cuerpos de agua o de acumulación natural de alimento (p.ej., frutos). Esto permitirá representar la heterogeneidad del sitio para maximizar la detección de la biodiversidad animal.

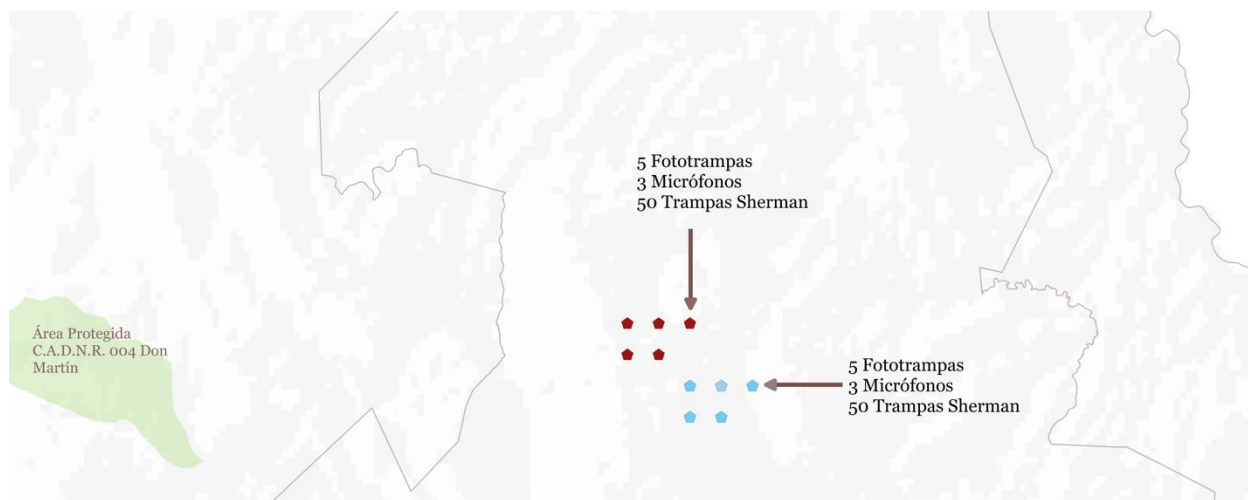
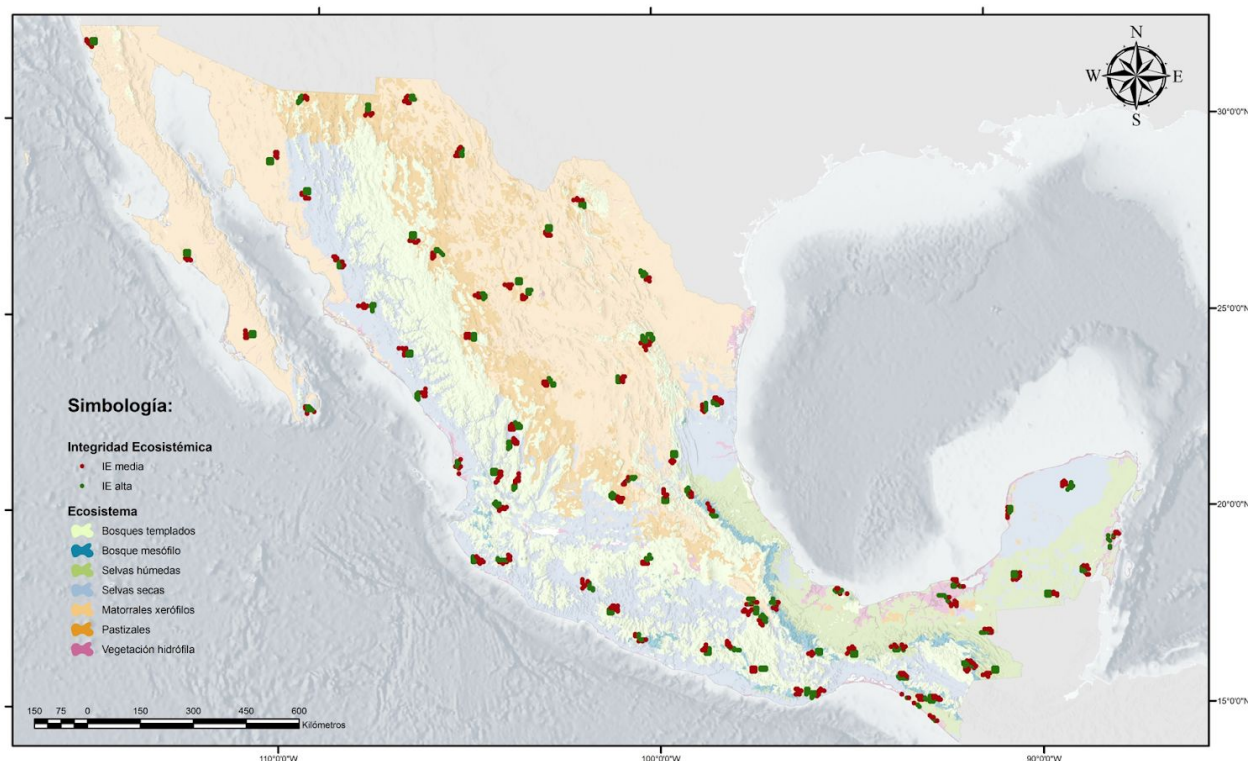


FIGURA 3. NÚMERO DE HERRAMIENTAS DE MONITOREO. DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIAS Y SECAS SE MANTENDRÁ, DE FORMA PARALELA, EL MISMO NÚMERO DE CÁMARAS TRAMPA ACTIVAS, MICRÓFONOS Y TRAMPAS SHERMAN (PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS DE ROEDORES) EN AMBOS MÓDULOS (CONSERVADO, CON ALTO VALOR DEL ÍNDICE IE, Y DEGRADADO, CON MENOR VALOR DEL ÍNDICE IE).

Distribución espacial de los cúmulos

El SiPeCaM tendrá un número de localidades (cúmulos) proporcional a la cobertura relativa de cada uno de los 7 tipos de ecosistema principales en México (Figura 4), pero asegurando un mínimo de 3 localidades en los ecosistemas de menor cobertura (ej. bosque mesófilo, Figura 4). En total, la cobertura temporal será de 2 a 3 mediciones anuales en cada cúmulo con el fin de contar con una colecta de datos mínima en temporada de lluvias y seca. Si esta intensidad de muestreo se multiplica por el total de 40 cúmulos (i.e., 80 módulos, cada uno con 5 nodos), este diseño involucra un intenso esquema de muestreo (N=400 nodos). Por otra parte, este enfoque metodológico i) enfatiza la consecución de

información a profundidad en cada cúmulo, en vez de enfatizar una cobertura espacial amplia (pero superficial en cuanto a su intensidad de muestreo, como es el caso del SNMB existente), y ii) cumple la función explícita que se busca de complementar y calibrar el programa nacional de monitoreo (SNMB), el cual enfatiza una cobertura amplia, pero de poca profundidad. Además, la escala espacial considerada en SiPeCaM abarca desde una muy puntual (el nodo), hasta una más amplia, escalable (analíticamente) al módulo y al cúmulo, con múltiples repeticiones (N=3 a 10) en cada ecosistema (Figura



SITIOS PERMANENTES DE CALIBRACIÓN Y MONITOREO DE LA BIODIVERSIDAD (SIPECAM)

Ecosistema	% del territorio	# cúmulos con base en %	# de cúmulos ajustado	# de cúmulos seleccionables	# de nodos seleccionables	Nodos en ANP	% Nodos en ANP
Bosques templados	22.67%	9	7	18	265	96	36%
Bosques mesófilos	1.59%	1	3	7	89	10	11%
Selvas húmedas	9.19%	4	5	9	127	57	45%
Selvas secas	20.45%	8	7	14	215	77	36%
Matorrales xerófilos	34.62%	13	10	15	205	80	39%
Pastizales	9.63%	4	5	8	109	18	17%
Vegetación hidrófila*	1.84%	1	3	5	57	52	91%
		40	40	76	1067	390	37%

*Restringida a Manglar

FIGURA 4. DISEÑO DE MUESTRO ESPACIALMENTE EXPLÍCITO. PANEL SUPERIOR: DISTRIBUCIÓN NACIONAL DE CÚMULOS ASIGNADOS ESPACIALMENTE PARA TENER REPETICIONES REPRESENTATIVAS DE CADA ECOSISTEMA (CON PARES DE SITIOS ADYACENTES CON CONDICIÓN DE DEGRADACIÓN DIFERENTE; PUNTOS ROJOS Y AZULES). LOS SIETE ECOSISTEMAS MUESTREADOS SERÁN: MATORRAL XERÓFILO, BOSQUE TEMPLADO, SELVA HÚMEDA, SELVA SECA, BOSQUE MESÓFILO, PASTIZALES Y MANGLARES (VEGETACIÓN HIDRÓFILO EN EL CUADRO). PANEL INFERIOR: TABLA DE PORCENTAJE DE SUPERFICIE CUBIERTA POR CADA ECOSISTEMA, NÚMERO PROPORCIONAL DE PARES RESPECTO AL TOTAL (40) CON BASE EN LA SUPERFICIE TERRITORIAL OCUPADA, NÚMERO DE PARES RE-DISTRIBUIDOS PARA PODER ASIGNAR UN MÍNIMO DE 3 REPETICIONES POR ECOSISTEMA (COLUMNA #P, AZUL CLARO). EL NÚMERO DE PARES POR ECOSISTEMA DE ENTRE LOS CUALES SE PUEDEN SELECCIONAR LOS 40 REQUERIDOS EN LA PRESENTE PROPUESTA SE INDICA EN LA COLUMNA #P (AZUL OSCURO); NÚMERO TOTAL DE NODOS POR ECOSISTEMA, DE ENTRE LOS CUALES SE PUEDE SELECCIONAR EL NÚMERO REQUERIDO EN LA PROPUESTA (COLUMNA # NODOS) Y NÚMERO DE NODOS POR ECOSISTEMA QUE COINCIDEN ESPACIALMENTE CON ANPs FEDERALES (COLUMNA NODOS EN ANP), Y PORCENTAJE DE NODOS POR ECOSISTEMA QUE CAEN EN ANPs FEDERALES (COLUMNA % NODOS EN ANP).

Aunque los nodos en SiPeCaM están pre-seleccionados con base en la malla de los conglomerados (sitios de muestreo INFyS, ver Anexo 3), estos últimos únicamente cubren una hectárea debido a que está enfocado en el registro de plantas, pero la cobertura en SiPeCaM es mayor por nodo pues está enfocada en el monitoreo de fauna. Los parámetros *in situ* del INFyS se pueden interpolar para generar mapas de cobertura nacional utilizando variables explicativas satelitales y un modelo predictivo bosque aleatorio por lo que es posible asociar ambas fuentes de información (SiPeCaM e INFyS) en análisis futuros.

DETECCIÓN DE MURCIÉLAGOS MEDIANTE GRABACIONES ULTRASÓNICAS

El grado de solapamiento entre los listados de especies capturadas por métodos convencionales y aquellos basados en detecciones sobre grabaciones ultrasónicas suele ser bajo ([McSwiney et al., 2008](#)), por lo cual no se espera obtener una representación fiel de toda la diversidad de murciélagos en cada sitio. En vez, se propone producir una medida de la diversidad de murciélagos enfocada en el estrato de especies detectable por audio, para lo cual se generarán líneas base por sitio para la riqueza potencial u otras medidas de diversidad. Los resultados de detecciones sobre grabaciones provenientes del SNMB muestran que es posible producir una buena estimación de la riqueza detectable por audio con un esfuerzo de muestreo relativamente bajo (Anexo 4), lo cual coincide con el comportamiento reportado en la literatura ([McSwiney et al., 2008](#)). Por otro lado, todos los grupos tróficos se han detectado por lo que este parámetro faunístico es detectable gracias a la caracterización en los fonogramas y por lo tanto con el método de audio establecido.

CAPTURA DE ROEDORES Y ANÁLISIS DE RIESGOS DE ZONOSIS

Esta innovación dentro del proyecto SiPeCaM se basa en los hallazgos de la literatura reciente que muestran que el deterioro de los ecosistemas, impulsados por el impacto antropogénico, en particular la defaunación de vertebrados de talla media y grande, típicamente lleva consigo un aumento en la abundancia de roedores (Dirzo et al. 2014, Young et al. 2014, 2015). Estos son reconocidos como uno de los principales agentes de riesgos de zoonosis. El diseño de campo de SiPeCaM permitirá evaluar rigurosamente esta expectativa. Los roedores capturados en los módulos SiPeCaM serán sometidos al siguiente protocolo (Young et al. 2014): peinado estandarizado con un escarmenador (usando un número de pasadas consistente, N=10) para hacer caer los ectoparásitos en un recipiente con alcohol para preservarlos. Los ectoparásitos se extraen con pipetas y se almacenan para su posterior identificación. De cada roedor capturado también se toma una muestra de sangre a partir de la parte distal de la cola. La sangre se almacena para su posterior procesamiento en muestras de papel filtro especial (“Nobutos”) para ello. A partir de la sangre y los ectoparásitos se hará la detección de patógenos causantes de

enfermedades zoonóticas (incluyendo, entre otros, Bartonella, Borellia, Leptospira, Leishmania, Hepatozoon, Anaplasma, Theileria, Coxiella, Rickettsia, y Plaga). Para este fin, se enviarán estas muestras a un laboratorio de detección de enfermedades mediante técnicas de análisis molecular. Las opciones contempladas incluyen el Laboratorio de Genómica de la Biodiversidad (LANGEBIO, Contacto: Dr. Andrés Moreno-Estrada), el Centro de Ciencias Genómicas (CCG-UNAM, Contacto: Dra. Esperanza Martínez), el Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental (Instituto de Ecología-UNAM, Contacto: Dra. Valeria Souza). La presente propuesta y el presupuesto correspondiente no incluyen esta parte del estudio, para la cual se hará una solicitud independiente de fondos. Dado que las muestras de sangre y ectoparásitos se pueden mantener almacenadas, la presente propuesta solo contempla la recolección y almacenamiento de las mismas, y el componente de zoonosis del SiPeCaM se podrá llevar a cabo, sin perjuicio de las muestras, tan pronto como se consigan los fondos adicionales.

Monitoreo participativo

Un aspecto sobresaliente de esta propuesta es que se involucrará, ex profeso, y a través de las OSC a los habitantes locales en la operación y mantenimiento de los sensores, recibiendo por ello una remuneración y capacitación, además de mantenerlos informados sobre resultados relevantes para ellos. La transferencia de fondos desde CONABIO a las comunidades locales será vía el Fondo Mexicano de Conservación de la Naturaleza, y The Nature Conservancy, instituciones que ya se han comprometido a colaborar con SiPeCaM en este sentido. En caso de que estas instituciones, por razones administrativas, no cubran alguna región de México en la cual se ubiquen sitios de SiPeCaM, el arreglo con las comunidades locales correspondientes se hará vía alguna OSC. Para esto se generarán acuerdos específicos (convenios) entre la OSC y CONABIO.

Cada grupo de participantes locales, además, estará acompañado de un/una estudiante de una universidad local, a manera de servicio social y entrenamiento profesional, y cuyos gastos de transporte y hospedaje serán cubiertos por el proyecto. Dichos estudiantes se enfocarán en gran medida en la captura y manejo de roedores a partir de las trampas Sherman, así como de la recolecta de ectoparásitos y preparación de las muestras de sangre, incluyendo su almacenamiento temporal para posterior envío al Instituto de Biología-UNAM (convenio ya debidamente firmado con el Director). El Departamento de Zoología del mismo Instituto (a través del Dr. Víctor Sánchez-Cordero) amablemente se ha ofrecido a

coordinar el entrenamiento necesario para estos estudiantes, así como el Laboratorio de Ecología de Enfermedades y Salud de la FMVZ, UNAM, Facultad de Veterinaria, mediante el Dr. Gerardo Suzán Azpiri.

Los datos, particularmente los relativos a los roedores capturados en cada zona, interpretados para relacionarlos con aspectos de salud humana serán compartidos con los habitantes locales. A través de las OSC (Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, The Nature Conservancy, Conservation International, entre otras), las cuales ya tienen trabajo previo con la población local en varios de los sitios candidato para el proyecto se asegurará una buena participación social, lo cual contribuirá a la calidad de la información generada. Se solicitará a CONANP identificar personal perteneciente a las comunidades locales que han destacado anteriormente por su motivación y desempeño en actividades de conservación, vigilancia y manejo para que, si es el caso, considerarlos como participantes del proyecto en las Áreas Protegidas donde coinciden sitios SiPeCaM.

Con esto, el SiPeCaM contribuirá en dos áreas importantes para el país:

- i) al conocimiento de uno de los aspectos fundamentales de la ecología, que es el de la biodiversidad y los servicios ambientales que de ella derivan (“*nature contributions to people*”), así como al análisis de la erosión de estos a la luz del impacto antropogénico,
- ii) a la formación de capital humano (estudiantes del país), y al desarrollo comunitario haciendo partícipes a los habitantes locales en el estudio de la biodiversidad nacional y sus beneficios sociales (p.ej., regulación de riesgos de zoonosis).

Esto define que la naturaleza de esta propuesta es verdaderamente nacional en tanto que involucra diversos sectores (académico, estudiantil, comunidades locales de una amplia gama de regiones de México), y diversas entidades gubernamentales (CONAFOR, CONANP, CONABIO), académicas (Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM; Universidad de Stanford, SU) y civiles, así como la colaboración internacional (SU). Estos elementos hacen que SiPeCaM opere no solo como un proyecto de investigación tradicional, sino distinguible como proyecto de ciencia con ciudadanos (“*citizen science*”), un aspecto que se alinea totalmente con la filosofía y modus operandi de CONABIO. Hasta donde sabemos, no existe un esfuerzo nacional, interinstitucional, comparable al que aquí se ha descrito para México, en otros países del continente.

Calibración en el proyecto SiPeCaM

Si bien los parámetros del Índice de Integridad Ecosistémica pueden tener diferentes implicaciones (o interpretaciones) dependiendo del lugar, el hecho de que el diseño se basa estrictamente en la comparación entre pares armonizados (donde el resto de las variables ambientales, excepto la perturbación, se espera sean estadísticamente indistinguibles) bien puede absorber el efecto de heterogeneidad. En otras palabras, el proceder analítico en el proyecto se basará en las diferencias (en la variable de respuesta) en cada par de módulos, y no en valores promedio (con desvío típico) obtenidos en condiciones que sin duda serán heterogéneas y generan valores altos de la varianza (que debilitan el poder de detección de diferencias entre las condiciones—en este caso los dos niveles de alteración antropogénica).

Existen muchas, potencialmente infinitas variables incidentes sobre una unidad experimental. El método clásico de separar efectos de variables para determinar efectos causales es contrastar unidades experimentales sobre la o las variables de interés bajo la hipótesis causal, el resto de las variables quedan en el paquete indeseable de las variables de confusión cuyo efecto debemos eliminar. Para hacerlo recurrimos a:

1. Igualación de variables de confusión; esto supone que las variables en cuestión se pueden reconocer y que se sospecha su importancia (armonización).
2. Medición concomitante, no podemos igualar algo que se sospecha importa pero lo podemos medir, para controlarlo más tarde al analizar (al tomar diferencias por ejemplo), pero además se pueden incluir las covariables disponibles.
3. Lo no igualable, medible o de plano ni imaginable se lo dejamos al azar y por eso repetimos aleatorizando las observaciones.

En el caso en cuestión el diseño está haciendo un esfuerzo considerable de aplicación de los dos primeros criterios de diseño. No es realmente realizable la aleatorización, por lo que el estudio califica estrictamente como quasi experimento.

La eficacia del Índice de IE radica en conocer lo que en escala local diferentes parámetros biológicos caracterizan a los diferentes valores establecidos por el índice IE. Para esto se busca en primera instancia identificar a priori, con las primeras visitas de campo, y verificación rápida de parámetros, dichas características.

En este sentido cabe aclarar que los nodos del par con menor integridad no se espera estén actualmente deforestados o degradados; es decir no se monitorearán plantaciones forestales ni cultivos, y por tal motivo es que será previamente evaluado y caracterizado en la toma de datos en campo en las primeras visitas que se hacen en los pares de sitios para comprobar los elementos predominantes de los que consten dichos lugares y comprobar que funcionarán como “pares armonizados” SIPeCaM. Esto representa un interesante primer resultado de lo que captura en campo el índice IE.

RESULTADOS ESPERADOS CON LA PRESENTE PROPUESTA

Para este proyecto se esperan los siguientes resultados como parte de una etapa inicial de este proyecto nacional, que se enfocan principalmente en:

- A. Listado de actores clave en el país que participan activamente en el proyecto y conforman una red de organizaciones y comunidades locales integradas en el proyecto
- B. Listado de sitios con características ambientales deseables, pero a su vez factibles y seguras para la implementación de SiPeCaM
- C. Diseño de muestreo por nodo y manual de colocación de herramientas en campo
- D. Lista de parámetros verificados en las parcelas visitadas con base al listado de parámetros de campo por ecosistema para verificar la Integridad Ecosistémica contrastante entre los módulos de cada cúmulo.
- E. Plataformas y aplicaciones adaptadas para la toma de datos en campo que respondan a un diseño acertado para el flujo de información hacia la CONABIO
- F. Un modelo de base de datos
- G. Un sistema de almacenamiento, pre-procesamiento, procesamiento, visualización, revisión y disseminación de datos.
- H. Establecimiento de una red de comunidades locales capacitadas para el montaje de equipo en campo y descarga de información.

Esto permitirá alimentar con datos útiles bases de información que permitan generar los resultados esperados que en adelante se indican y que se conseguirán conforme se tenga suficiente representatividad espacial y temporal en cada uno de los los ecosistemas considerados y se espera complementar en etapas posteriores a la presente propuesta.

La información de la estructura y funcionamiento del proyecto se harán disponibles en la plataforma <https://monitoreo.conabio.gob.mx/>. Cualquier producto resultante se podrá acceder a través de dicha liga. Adicionalmente, en esta liga se proveerán los archivos digitales generados por los dispositivos de monitoreo, junto con los metadatos relevantes asociados, a través de un sistema de almacenamiento de archivos y metadatos (al que denominamos “*Irekua*”) que opere como repositorio genérico para información proveniente de sistemas de monitoreo pasivo. Además, se desarrollará una aplicación web (al que se denominó “*Selia*”) que permite administrar, acceder e ingresar información al sistema de almacenamiento mencionado.

RESULTADOS EN ETAPAS POSTERIORES A LA PRESENTE PROPUESTA

Considerando que el objetivo general del SNMB es contar con una base de datos temporal y espacial para evaluar los cambios en el estado de la biodiversidad, tomando en cuenta aspectos clave del funcionamiento de los ecosistemas, los resultados esperados en torno a este objetivo en el proyecto SiPeCaM son los siguientes:

1. Estimar la diferencia en cuanto a la composición y detecciones de carnívoros y herbívoros de talla mediana y grande en los sitios con diferente estado de conservación-degradación por ecosistema en México, con base en capturas de animales (colectas fotográficas) obtenidas a partir de cámaras trampa
2. Estimar la diferencia sobre actividad de quirópteros por ecosistema de México conservado-degradado con base en la grabación de sonidos audibles y ultrasónicos obtenidos
3. Estimar la diferencia entre los pares de los módulos en cuanto a la composición de especies y abundancia de roedores con base en colectas conseguidas por medio de trampas Sherman. Esto se llevará a cabo, inicialmente, de manera preliminar, con base en caracteres

morfológicos, y más adelante, de manera definitiva, con base en identificación molecular de código de barras, conforme estas muestras se vayan procesando con tal metodología (ver Young et al., 2014).

4. Proveer una base de información a nivel nacional de los ectoparásitos de roedores dependiendo del estado del sitio (conservado-degradado), resultante del análisis del conjunto de muestras representativas de los principales ecosistemas de México.
5. Fomentar la participación comunitaria y promover el conocimiento de los ecosistemas, así como los servicios ambientales (“nature contributions to people”) que brinda, vinculado con los sitios de calibración.

En conjunto, la información resultante podrá conformar parte de los parámetros que pueden ser incluidos en la estimación de la Integridad Ecosistémica en México que informa el estado de conservación incluyendo, por primera vez, evidencia en campo del estado de defaunación de una muestra representativa del país. El análisis de información para conseguir estos resultados se muestra en el Anexo 5.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA PRESENTE PROPUESTA

Detección de cúmulos

Para determinar los cúmulos que conformarán el proyecto SiPeCaM, se verificarán con datos de campo, los nodos (Figura 4) establecidos con base al mapa de Integridad Ecosistémica. Para esto, considerando una muestra de parcelas por módulo se evaluará la incidencia de parámetros en campo con base a un listado (“check list”) ya definido con la participación de expertos en cada ecosistema en México (julio 2018). Se compararán los resultados entre módulos de cada cúmulo. Este método, basado en la incidencia de parámetros del “check list”, ha sido utilizado en otros países para realizar los llamados “Ecological Integrity Assessments”, diseñados bajo el supuesto de que, a mayor número de parámetros presentes encontrados en las parcelas recorridas, mayor integridad ecológica. Finalmente se realizará un análisis estadístico con base en modelos que toman en cuenta el “bloque” representado por los pares de módulos contrastantes (conservado y de menor integridad).

Análisis complementarios de detección automatizada y generación de base de datos

De los archivos recibidos provenientes de las tarjetas de las cámaras trampa se utilizarán modelos de detección automatizada de fauna en las fotografías, dada la alta incidencia conocida previamente (SNMB) de fotografías sin presencia de fauna. Esto se realizará mediante el uso de un modelo faster R-CNN con Res-Net clasificación, mediante el entrenamiento con fotografías etiquetadas. Las fotografías con fauna se identifican de manera automatizada con una precisión del 84%, entendiendo precisión como la proporción en que se acierta en las predicciones de que una foto tiene fauna y de cobertura (*recall*) definida como la proporción de fotos con fauna que es capaz de encontrar del total de las fotografías, la cual es de un 82%. Posteriormente se hará una revisión experta para definir el nombre de la especie que aparece en cada fotografía con fauna. Las detecciones y su etiquetado, se guardan en una base de datos para asociarlos con su talla y gremio trófico con base en la literatura.

Con base en la grabación de sonidos audibles y ultrasónicos, para cada archivo de audio se genera un espectrograma. El espectrograma se alimenta a un modelo de detección basado en redes neuronales, el cual extrae ventanas temporales donde se detectó algún “llamado” de murciélago. Las ventanas que contienen las detecciones se alimentan a un modelo de clasificación que predice la especie (o más en general alguna etiqueta taxonómica) para cada llamado. Las detecciones y su etiquetado, junto con la estampa temporal y el método de inferencia, se guardan en una base de datos para consulta posterior.

Los modelos de clasificación automatizada de llamados de murciélagos más recientes registrados en el SNMB arrojan una exactitud (porcentaje de llamados correctamente clasificados) promedio de 82% a nivel de grupo funcional, de 79% a nivel familia y de 64% a nivel especie. Aunque esto implica que en muchos casos la clasificación podría no ser inequívoca, siempre es posible dar intervalos de confianza explícitos para cada medición, por lo que la estimación es objetiva y auditable.

Ambos análisis alimentarán bases de datos cuyo catálogo de conceptos se describe en el Anexo 6.

Cobertura Nacional en SiPeCaM

La cobertura nacional del proyecto SiPeCaM en el modelo geográfico incluye sitios en Áreas Naturales Protegidas, AICAS y sitios Ramsar por lo que los productos de este proyecto podrán potencialmente ser

utilizados para acciones de conservación (Anexo 7). Al menos 21 Reservas de la Biosfera, 6 Áreas de Protección de Flora y Fauna, 4 Áreas de protección de Recursos Naturales y un Parque Nacional, así como al 20 Áreas de Importancia para la Conservación de Aves y 6 sitios Ramsar (Anexo 8) serán evaluados como sitios potenciales (candidatos) de muestreo (Figura 4).

Si bien no sabemos cuáles especies pertenecientes a la NOM-059-2010, prioritarias y al listado de CITES puedan ser detectadas en el monitoreo del SiPeCaM, al cubrir una amplia variedad de regiones del país, muchas de las cuales incluyen sitios de importancia para la conservación, y con una intensidad de muestreo alta como la que aquí se contempla, es posible que sea detectada una proporción relevante de estas especies. Como referencia, en el SNMB ya se han detectado –mediante foto-trampeo– 12 especies que se encuentran en la NOM-059, 6 especies con alta prioridad para la conservación, 15 que se encuentran en Anexos de CITES y varias con algún grado de amenaza según la IUCN (*Penelope purpurascens*, *Meleagris gallopavo*, *Meleagris ocellata*, *Dicotyles tajacu*, *Crax rubra*, *Mazama temama*, *Mazama pandora*, *Ursus americanus*, *Tamandua mexicana*, *Eira barbara*, *Lynx rufus*, *Leopardus wiedii*, *Leopardus pardalis*, *Panthera onca*, *Herpailurus yagouaroundi*; Anexo 8). En particular, en las grabadoras del SNMB, se ha detectado la incidencia de especies de murciélagos amenazados (NOM-059-2010) como *Chrotopterus auritus*, *Leptonycteris yerbabuena*, *Mimon crenulatum*, *Pteronotus gymnotus*, *Thrachops cirrhosus*; en Peligro de Extinción, como *Myotis planiceps*; y Sujetas a Protección Especial, como *Rynchonycteris naso* y *Saccopteryx leptura*. (Anexo 9).

FASES DE LAS ACTIVIDADES E INDICADORES DE AVANCE

El presente proyecto se llevará a cabo en 3 fases principalmente. La fase inicial se refiere al ajuste del diseño de muestreo local y nacional, identificación de coordinador SiPeCaM local, identificación, enlace y desarrollo de convenios con los socios, comunicación de los socios con comunidades involucradas, aceptación del monitoreo por las comunidades, diseño de base de datos, realización de aplicaciones para captura de datos, verificación en campo de los cúmulos en cuanto al grado de IE estimada y de factibilidad. Esta primera etapa termina cuando se consiga ir al campo a revisar el total de los cúmulos, para evaluar factibilidad del sitio, y se estima termine a finales del primer año de aceptado el proyecto. La fase intermedia es aquella en la que se determinan los cúmulos factibles de monitorear, se capacita a

los socios en la captura de datos y uso de herramientas de monitoreo; los socios posteriormente se capacitan en la colocación de herramientas de monitoreo a las comunidades, con una fase de acompañamiento en la primera rotación para asegurar la rotación que permita la descarga de datos exitosa. Esta etapa concluirá a finales del segundo año.

El objetivo de principal en este proyecto es mantener un monitoreo constante/permanente, por lo que no visualizamos una etapa final. Pero considerando los recursos otorgados por CONABIO esta etapa inicia a principios del tercer año de operatividad del proyecto y termina a finales del mismo, donde se pretende arreglar la información en las bases de datos, e identificar fallas para emitir soluciones, y permitir el acceso fácil a la información para que permita tener las condiciones de una etapa posterior a la final donde se inicien los análisis de la información de los cúmulos en los que se consiguió implementar el monitoreo planeado por un año completo. Esta etapa considera el desarrollo de un informe final que pretende desarrollar recomendaciones de mejoras útiles para etapas posteriores y asegurar el buen desempeño y continuidad del proyecto SiPeCaM.

Indicadores de Avance

RUBRO	Primer Semestre	Segundo Semestre	Tercer Semestre	Cuarto Semestre	Quinto Semestre	Sexto Semestre
Diseño de muestreo nacional y local	100% del diseño de muestreo de fototrampeo, micrófonos y trampas Sherman a nivel nacional					
Evaluación, priorización y selección de Sitios de muestreo		100% de localización de sitios dónde se puede implementará el primer año de monitoreo SiPeCaM	100% de sitios visitados y verificación de IE en campo.			
Capacitación y vinculación comunitaria con OSCs			50% de las comunidades capacitadas en herramientas los sitios definidos como factibles	100% de las comunidades capacitadas en herramientas los sitios definidos como factibles y descarga de información		
Desarrollo de manuales y procedimientos		100% del Manual de monitoreo SiPeCaM	30 % de la colocación de herramientas de monitoreo en sitios factibles localizados y evaluados el primer año	100% de la colocación de herramientas de monitoreo en los cúmulos factibles localizados durante el primer año		
Recepción de Información de campo	100 % de avance en el diseño de la aplicación (para celular tableta o laptop) para la captura de información en campo sin internet. Y 70% del diseño de la plataforma para la transferir la información de datos desde las comunidades u oficinas de los participantes.	100% del diseño de un sistema almacenamiento pre-procesamiento, procesamiento, visualización, revisión y disseminación de datos.				



CONABIO

COMISIÓN NACIONAL PARA
EL CONOCIMIENTO Y USO
DE LA BIODIVERSIDAD



<p>Identificación taxonómica de registro fotográfico y audible</p>					<p>50% de las fotografías recibidas de cámaras trampa con especie identificada/verificada en la plataforma del SNMB.</p>	<p>100 % de grabaciones en la plataforma listas para ser analizadas con determinación a nivel funcional y de especie en murciélagos.</p> <p>100% de las fotografías recibidas de cámaras trampa con especie identificada/verificada en la plataforma del SNMB.</p> <p>100% de muestras de roedores enviadas al IBUNAM o Institución participante definida durante el proyecto.</p>
--	--	--	--	--	--	--



CONABIO

COMISIÓN NACIONAL PARA
EL CONOCIMIENTO Y USO
DE LA BIODIVERSIDAD



ANEXO 1: Antecedentes de uso, desarrollos y productos actuales de MAD-Mex, INFyS y SNMB: relevancia en SiPeCaM

El sistema Monitoring Activity Data for the Mexican REDD+ Program (MAD-Mex), es un sistema operacional diseñado para procesar grandes cantidades de datos satelitales ópticos y/o de radar. El sistema produce productos de alta resolución sobre cobertura de suelo y cambio de cobertura de manera eficiente, rápido y de bajo costo. Este sistema tiene el potencial de detectar, espacio-temporalmente, los cambios que ocurren en el país. En este caso, la obtención, captura y gestión de datos se refieren a la descarga de imágenes satelitales para luego alojarse en servidores propios. Los productos de MAD-Mex, se usan como “proxies” de la biodiversidad, son complementarios y se integran entre otros fines en el modelo de Integridad Ecosistémica (IE), para así poder conocer los patrones espaciales de degradación en el país. Los productos principales son la cobertura de suelo Landsat 2017 y 2018 (30m), Sentinel 2017 y 2018 (20m), y la cobertura RapidEye 2015 (5m). La diseminación de los productos generados a través del sistema MAD-Mex se hace en un portal de información web (<https://monitoreo.conabio.gob.mx/>).

El Sistema Nacional de Monitoreo de la Biodiversidad SNMB está principalmente enfocado a datos in situ de fauna y por tanto planeado para complementar la información existente en otras bases de datos de biodiversidad mexicana (e.g., Sistema Nacional de Información de la Biodiversidad, SNIB). El objetivo del SNMB es poder dar seguimiento al estado de la fauna en el territorio nacional (https://www.biodiversidad.gob.mx/sistema_monitoreo/). En este sistema, la obtención de datos se refiere a visitas en campo de conglomerados (localidades) de muestreo que se encuentran en una “retícula nacional” como marco muestral de referencia.

En cada conglomerado muestreado se colocan dos sensores para, de manera pasiva, disminuir el esfuerzo humano para la obtención de datos. Uno de los sensores captura paisajes sonoros audibles durante el día y sonidos ultrasónicos mediante una grabadora. También se coloca una trampa cámara para tomar fotografías y videos de la fauna presente. Por otro lado, en tres transectos diferentes en cada conglomerado, se toman fotografías de huellas, excretas y especies invasoras. Estos datos se capturan en una aplicación y luego se ingresan y gestionan en una base de datos central localizada en CONABIO.

Debido el gran monto de información obtenida, se han generado aplicaciones para facilitar la revisión tanto de sonidos audibles y ultrasónicos, como de cámaras trampa con el objetivo de convertirlos en registros de especies. Con base a una fonoteca y fototeca de referencia, se entrenan modelos de inteligencia artificial para detección y clasificación de fauna en grabaciones y fotografías. Los registros fotográficos y medidas de diversidad generadas a partir de la clasificación de especies o grupos funcionales obtenidos por las grabaciones ultrasónicas de murciélagos se disemina actualmente en la misma plataforma de MAD-Mex (<http://monitoreo.conabio.gob.mx>).

Una característica distintiva del SNMB radica en que la intensidad de muestreo es, por necesidad, baja, debido al énfasis de cubrir un número amplio de sitios de observación, con un monto reducido de cámaras y de días en el que se dejan los sensores para la detección de fauna (entre 1 y 30 días al año). En contraste, los sitios SiPeCaM representan un avance radical en el monitoreo, con el aumento en cámaras y grabadoras y monitoreo continuo en el año, y además cubre de manera sistemática los ecosistemas más representativos del país en estados contrastantes de su condición de degradación. Este enfoque metodológico supone un mecanismo que informa la calibración del SNMB y complementa al mismo.

Cualquier sistema de monitoreo de cualquier fenómeno genera solamente una aproximación de la realidad, debido a que está basado en el uso de modelos. Combinando los tres sistemas, el INFyS (uno de los inventarios forestales más completos en el trópico) el sistema SNMB (con sus tres componentes: SARMOD, SACMOD, SiPeCaM) y MAD-Mex (con su capacidad de cuantificar y cualificar cambios de coberturas de manera eficiente y rápida) se aporta a México una oportunidad única en el análisis de fenómenos de degradación. Sin embargo, una de las principales limitantes actualmente en el cálculo de la IE es que incorpora principalmente información de MAD-Mex y del INFyS, pero no está incluida la fauna en el modelo, un componente clave en el funcionamiento de los ecosistemas, como discutimos anteriormente.

No obstante, los principales productos integran los datos del SNMB, MAD-Mex e INFyS lo que implica un avance en el procesamiento de información en CONABIO, esto representan un antecedente valioso sobre el manejo de información de esta naturaleza.

Los principales aportes en resultados obtenidos en el SNMB, los cuales podrán ser mejorados con los registros obtenidos en SiPeCaM incluyen:

- Modelo de Integridad Ecosistémica nacional anual del 2004 al 2014 (250m y 1000m) el cual se obtiene integrando información de diferentes resoluciones (i.e. datos puntuales de estructura de la vegetación-INFyS, imágenes satelitales procesadas- MAD-Mex, Series de INEGI, clima y modelos digitales de elevación), mediante el uso de Modelos Bayesianos. Una de las limitaciones actuales es que aún no se integra al componente faunístico como parámetro clave por la falta de registros pertenecientes a fauna indicadora de IE. SiPeCaM permitirá detectar cuantitativamente los parámetros faunísticos sensibles asociados al estado de la comunidad de animales mediante el conocimiento del proceso de defaunación y permitirá robustecer el Modelo Bayesiano de Integridad Ecosistémica.

- La Fonoteca Nacional de Murciélagos, que es una plataforma que permite realizar anotaciones a los expertos y por otro lado sirve de referencia para obtener registros detectados mediante grabaciones ultrasónicas del SNMB a nivel de especie, familias y grupos funcionales. Estos resultados se resumen en diferentes Medidas de Biodiversidad de Murciélagos por conglomerado o agregados de ellos en una plataforma espacial. Las limitaciones en los registros SNMB obtenidos mediante grabaciones es la falta de consistencia temporal en toma de datos en los mismos sitios por lo que no se conoce la variabilidad estacional ni diaria. En el SNMB no se registran además algunos horarios donde hay potencialmente periodos de actividad faunística. El SiPeCaM permitirá aumentar número de grabadoras y se va a ampliar el horario así como los días de grabación en el año. Al haber más control que en el SNMB sobre sitios degradados vs íntegro, según IE, permite más fácilmente hacer estudios comparativos de los parámetros medidos en el audio.

- La Fototeca Nacional de Fauna en Vida Silvestre que contiene un cliente de anotación sobre fotografías detectadas con presencia de fauna a partir del entrenamiento con varias bases de fotografías previamente con especies identificadas. Esta fonoteca contiene más de 1,170 “capturas” únicas de aves y mamíferos provenientes del SNMB, con 164 grupos taxonómicos o especies verificadas (actualmente con 58 especies de mamíferos y 106 de aves). Estos datos corresponden a un periodo de 4 años (2014-2017). La principal limitante en los registros fotográficos son los días trampa que no permiten estimar principalmente las abundancias relativas y la composición completa de mamíferos medianos y grandes. SiPeCaM incrementará sustancialmente el número de cámaras por sitio además de representar la heterogeneidad ambiental de los ecosistemas muestreado, por lo tanto se realiza un considerable esfuerzo de muestro para contrastar las diferencias entre sitios en dichos parámetros.

- Modelos de Calidad de Hábitat para especies clave. Producto anual alimentado con datos de presencia de fauna de depredadores de la parte superior de la cadena trófica, y coberturas de estructura de la vegetación obtenidos a partir del INFyS e imágenes satelitales. Estos modelos son anuales y permiten darle seguimiento a la tendencia en el tiempo de la calidad de la vegetación y productividad para especies particulares, por lo que mientras más registros de observaciones únicas por año por especie (localidad/por año) se tendrá un mejor desempeño de los modelos pues caracterizaría mejor espacialmente la heterogeneidad de las condiciones del hábitat. SiPeCaM en este sentido podría ayudar en términos de alimentar mejor este tipo de modelos demandantes en información espacio-temporal.- Representatividad de depredadores de la parte superior de la cadena trófica y presas principales a partir del registro fotográfico del periodo 2014 al 2017 en las ANP. Si bien el diseño de muestreo para las cámaras trampa en SiPeCaM no está dirigido a este tipo de depredadores sí será factible la detección de sus principales presas. La diferencia en la completitud en la composición de estas presas o la diferencia en su podrá aportar una aproximación sobre los sitios donde es más probable sobrevivan los depredadores como es posible ocurra en el par con mayor IE.

ANEXO 2: Estimación de la Integridad Ecosistémica

La integridad ecosistémica es el estado de la condición de los ecosistemas que mediante procesos de auto-organización induce expresiones específicas de biodiversidad a partir de la biota presente localmente, y acorde a las restricciones biofísicas del ambiente. De esta manera, la integridad como condición subyacente de la organización funcional de un ecosistema se refleja en variables estructurales y funcionales observables. A su vez, estas variables se relacionan directamente con la generación de servicios del ecosistema. La forma de estimar la integridad ecosistémica utilizando el índice de integridad ecosistémica (IE) (Equihua et al. 2015) es a través del uso de redes Bayesianas (un miembro prominente de la familia de modelos probabilísticos gráficos de gran interés actual en el llamado aprendizaje de máquina, o “machine learning”). En la implementación actual se utilizan al menos 5 diferentes tipos de variables biofísicas (Tabla I.1) que se obtienen de datos de percepción remota en México y del INFyS de CONAFOR. Además, se integran las Zonas de Vida de Holdridge en modelos digitales de elevación para controlar la diferencia de dichos parámetros entre diferentes ecosistemas.

El mapa resultante de la IE (https://www.biodiversidad.gob.mx/sistema_monitoreo/) permite percibir la distribución espacial de la condición actual de los ecosistemas en México.

Tabla I.1 Variables consideradas en el Modelo del Índice de Integridad Ecosistémica

Indicador	Variables Ecológicas	Índices	Tipo de Monitoreo
Integridad Ecosistémica			Múltiple
	Cobertura de Uso de suelo	Cambios en la cobertura de uso de suelo y deforestación	Satelital (Serie 2 a 6 de INEGI)
		Porcentaje de pixel con vegetación no boscosa, Porcentaje de pixel sin vegetación, Porcentaje de pixel con vegetación boscosa	Satelital
	Estructura de la Vegetación	Altura promedio del fuste, Desviación estándar de la altura total del arbolado, Altura promedio del arbolado, Desviación estándar del diámetro de copa del arbolado, Promedio del diámetro de copa del arbolado, Desviación estándar del diámetro a la altura del pecho, Promedio del diámetro a la altura del pecho, Probabilidad de presencia de árboles muertos en pie, Probabilidad de presencia de hojarasca en el suelo, Número de árboles por hectárea	Inventario Forestal y Satelital
	Productividad Primaria	Promedio de la producción primaria bruta en temporada de secas, Desviación estándar de la producción primaria bruta en temporada de secas, Promedio anual de la producción primaria bruta, Desviación estándar anual de la producción primaria bruta, Promedio de la producción primaria bruta	Satelital

en temporada de lluvias, Desviación estándar de la producción primaria bruta en temporada de lluvias

Actividad
Fotosintética

Promedio de la fotosíntesis neta en temporada de secas, Desviación estándar de la fotosíntesis neta en temporada de secas, Promedio anual de la fotosíntesis neta, Desviación estándar anual de la fotosíntesis neta, Promedio de la fotosíntesis neta en temporada de lluvias, Desviación estándar de la fotosíntesis neta en temporada de lluvias

Satelital

Daño
Vegetación

Probabilidad de presencia de plagas en árboles (muérdago, descortezadores, barrenadores)

Inventario
Forestal y
Satelital



CONABIO

COMISIÓN NACIONAL PARA
EL CONOCIMIENTO Y USO
DE LA BIODIVERSIDAD

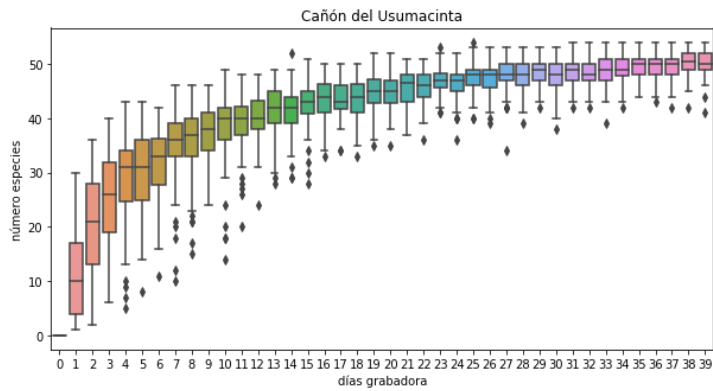
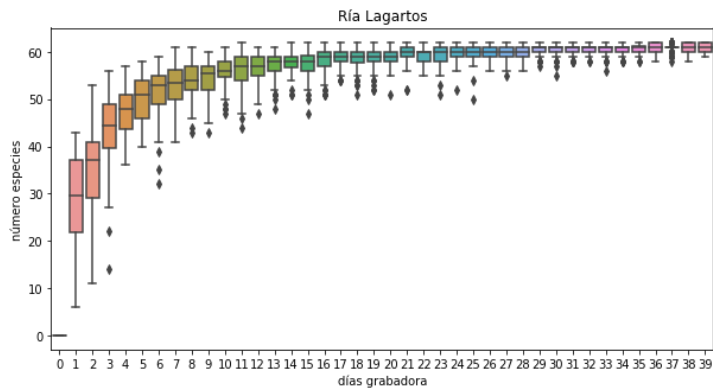


ANEXO 3: Distancia de separación entre conglomerados en el INFyS en las diferentes comunidades vegetales. La Vegetación Arbolada presentan una distancias de 5 km entre conglomerados. En contraste, para el Matorral casi siempre la distancia es de 20 km salvo para chaparrales, matorrales submontanos y subtropicales. Los conglomerados asociados al SNMB consideran una malla consistente de 5 km de distancia entre conglomerados, independientemente del tipo de vegetación, por lo que coinciden, cuando es el caso, con el INFyS.

Tabla # 1: *Distancia entre los conglomerados por tipo de vegetación para el Inventario Nacional Forestal y de Suelos.*

GRUPO	COMUNIDADES VEGETALES	DISTANCIA (km)
BOSQUES	<ul style="list-style-type: none"> • AYARIN • CEDRO • ENCINO • ENCINO – PINO • OYAMEL • PINO • PINO – ENCINO • MESOFILO DE MONTAÑA 	5 X 5
BOSQUE CULTIVADO	<ul style="list-style-type: none"> • PLANTACION FORESTAL 	
SELVAS ALTAS – MEDIANAS	<ul style="list-style-type: none"> • ALTA PERENNIFOLIA • ALTA SUBPERENNIFOLIA • MEDIANA CADUCIFOLIA • MEDIANA PERENNIFOLIA • MEDIANA SUBCADUCIFOLIA • MEDIANA SUBPERENNIFOLIA • PETEN 	10 X 10
SELVAS BAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • SELVA BAJA PERENNIFOLIA • SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA • SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA • SELVA BAJA CADUCIFOLIA • SELVA BAJA ESPINOSA • SABANA • SABANOIDE 	
COMUNIDADES SEMIARIDAS	<ul style="list-style-type: none"> • BOSQUE DE TASCATE • MATORRAL DE CONIFERAS • CHAPARRAL • MATORRAL SUBTROPICAL • MAT. SUBMONTANO • MAT. ESPINOSO TAMAULIPECO • MAT. SARCOCAULE • MAT. SARCO-CRASICAULE • MAT. SARCO-CRASICAULE DE NEBLINA • MEZQUITAL (XEROFILO, SELVA ESPINOSA Y ESPECIAL 	20 X 20
COMUNIDADES ARIDAS	<ul style="list-style-type: none"> • MAT. CRASICAULE • MAT. DESERTICO MICROFILO • MAT. DESERTICO ROSETOFILO • MAT. ROSETOFILO COSTERO • VEG. DE DESIERTOS ARENOSOS • VEG. DE DUNAS COSTERAS • VEG. GIPSOFILO • VEG. HALOFILA • PASTIZAL (NATURAL, HALÓFILO, GIPSÓFILO) 	
MANGLAR	<ul style="list-style-type: none"> • MANGLAR 	5 X 5
GALERIA	<ul style="list-style-type: none"> • BOSQUE DE GALERIA • SELVA DE GALERIA • VEGETACION DE GALERIA 	
PALMAR	<ul style="list-style-type: none"> • PALMAR (NATURAL E INDUCIDO) 	
SUBACUATICAS	<ul style="list-style-type: none"> • TULAR • POPAL • VEGETACION HALOFILA HIDROFILO 	10 X 10

ANEXO 4: Curvas de acumulación de especies de dos Áreas Naturales Protegidas muestreadas previamente en el Sistema Nacional de Monitoreo entre 2014 y 2017 mediante detecciones ultrasónicas.



ANEXO 5: Análisis de información en etapas posteriores a la presente propuesta
Estimaciones de la diferencia entre Módulos de las Variables de respuesta

Una vez establecidos los cúmulos se colocarán las herramientas de monitoreo para conseguir los datos en campo durante un año continuo para evaluar la diferencia de las variables de respuesta entre los tratamientos (Tabla 1). Para ello se emplearán modelos lineales generalizados de efectos mixtos por la flexibilidad en el tipo de variables de entrada que aceptan y las distribuciones que pueden modelarse por ecosistema. No obstante, se buscará incorporar herramientas de análisis adecuadas según la estructura de la información obtenida. Se considerarán covariables como microclima (temperatura y humedad) y estación (lluvias, secas) u otras asociadas a degradación (no consideradas aún en el índice de Integridad Ecosistémica) como infraestructura (distancia a carreteras, poblados) y estructura del paisaje (fragmentación) u otras fuentes de variación que se pueden considerar como factores aleatorios incluyendo la autocorrelación espacial.

Tabla 5. 1: Variables de respuesta para análisis en SIPeCaM

Variables	Medida	Grabadoras	Fototrampas	T. Sherman
Variables de paisaje acústico	Saturación por frecuencia	x		
Actividad	Diversidad basada en actividad (como proxy de abundancia)	x		
Detecciones	Número de detecciones (registros, pasos, etc.) de murciélagos, mamíferos medianos y grandes, herbívoros y carnívoros, abundancia de roedores	x	x	x
Ocupación	Probabilidad de presencia y detectabilidad, proporción de sitios ocupados	x		
Composición	Riqueza (específica y funcional) y diversidad, abundancia de mamíferos pequeños, número de ectoparásitos por hospedero	x*	x	x**

*La riqueza específica obtenida a partir de las detecciones en las grabadoras es dependiente de conseguir una adecuada (i.e. alta precisión) identificación de las especies mediante los espectrogramas

**Posible de obtener a través morfoespecies para la presente propuesta, pero una vez concluido el trabajo comprometido en esta primera propuesta, será a través de la identificación de especies mediante identidad genética, mediante código de barras

Fortalezas del diseño de pares armonizados para el análisis de las variables de respuesta. Los análisis de las variables de respuesta se basarán en las diferencias (en la variable de respuesta) en cada par de módulos, no en valores promedio (con desvío típico) obtenidos en condiciones que sin duda serán heterogéneas y generan valores altos de la varianza (que debilitan el poder de detección de diferencias estadísticas entre las condiciones, en este caso los dos niveles de alteración antropogénica).

La diferencia entre los parámetros se obtendrá en etapas posteriores a la toma de datos obtenida después del mínimo de cúmulos establecido por ecosistema (Figura 4). En dichos parámetros se consideran la abundancia que se medirá en el caso de los Chiróptera mediante la actividad registrada por el número de pasos. Los pasos se definen como una secuencia de pulsos de ecolocalización separada por no más de un 1 segundo (Hayes, 1997). La tasa de actividad se define como el número de pasos por unidad de tiempo (en este caso, horas). El número de pasos es utilizado como medida de abundancia, y permite obtener frecuencias relativas, por lo que es posible calcular riqueza, índices de diversidad de especies en cualquier categoría de etiquetado (familias, géneros, grupos funcionales incluidas la dieta, percepción, forrajeo, afinidad de hábitat), lo cual puede proveer medidas convencionales para su interpretación.

En el fototrampeo se consideran los periodos de tiempo como un estándar para hacer el conteo de individuos para medir la abundancia relativa con base a la frecuencia de fotocaptura mediante registros independientes. La abundancia relativa (AR) se calculará a nivel de especie (OBrien 2003; Monroy-Vilchis et al. 2011). La abundancia relativa se calcula a partir del número de fotos independientes de una especie sobre el número total de fotos del muestreo por el factor de corrección 100 (trampas-noche) así: $AR = (X_i / Y_i) \times 100$ trampas-noche. Por ejemplo si se tienen 50 fotos independientes de una especie y un muestreo con un total de fotografías de 1000. La abundancia relativa de la especie sería igual a 5.0 (Díaz-Pulido y Payán-Garrido, 2012). La abundancia relativa, vista como tasa de captura, es uno de los primeros atributos poblacionales a evaluar cuando no se dispone de información previa de las especies en una zona, de tal manera que se calculará dicha tasa de captura a partir de los registros independientes obtenidos para ciclos de 24 h.

Las especies detectadas en las fotografías se asociarán con bases de caracteres existentes asociadas a cada especie, en este caso los grupos tróficos y masa corporal. Así, una vez identificada la especie detectada se determinará su carácter de carnívoros o herbívoros y la talla correspondiente (mediana-grande), y tener así cuatro tipos de grupos de análisis por contrastar: carnívoros medianos, carnívoros grandes, herbívoros medianos y herbívoros grandes y sobre ellos estimar la diferencia de abundancia relativa entre pares de módulos.

Si bien es claro que las recomendaciones de cobertura en área en general en técnicas de fototrampeo son mayores a las utilizadas en el SiPeCaM, este diseño está justificado por la factibilidad del recorrido por los monitores comunitarios. Con la ventaja adicional de que se maximizará la representatividad de hábitats en los nodos y módulos mediante la colocación de los sensores en diferentes sitios y maximizar la detectabilidad de diferentes especies (Tobler et al 2008) ya que algunas especies podrían estar limitadas a sólo uno de ellos (cuerpos de agua, filos de montañas, veredas, presencia de frutos, presencia de cadáveres, etc). Así, además en cada nodo y con la rotación mensual se capturará la heterogeneidad a escala de paisaje.

Agregando la información por conjuntos de nodos en el caso de las cámaras (módulo) consideramos las

posibilidades de detectar las diferentes especies de mamíferos medianos y grandes que habitan el lugar. Las cámaras muy cercanas disminuyen la detectabilidad de las especies con mayor ámbito hogareño (e.g. puma 118 km², jaguar 29 km², lince 28.4 km², oso negro 28 km²) y se recomienda tener al menos 2 o 3 cámaras dentro de un ámbito hogareño (AH) de la especie de interés. Existen propuestas con un mínimo de distancia entre cámaras de 100 a 200 m para especies entre 2 a 7 kg (Porras et al 2017) a un máximo 2 km (O'Brien 2011). En términos de área si cada nodo cubre al menos 3.75 km² y el módulo cubre casi 20 km² podemos estar cubriendo la mayoría de la diversidad de AHs de los mamíferos medianos conocidos en México. De 47 especies (es decir el 76% de los mamíferos), cubriremos un área suficiente por sitio pues estas presentan menos de 4.5 km² de AH. En contraste, 21% presentan entre 9 y 29 km² por lo que a escala del módulo se cubriría dicha área. Con esto tenemos el potencial de detectar el 100% de los grupos funcionales detectables en fototrampeo de los mamíferos. Sin embargo a nivel de especie *Puma concolor* es la única especie que quedaría subrepresentada con el área cubierta por módulo, alcanzando a cubrir sólo el 16 % del área total de su AH. Sin embargo, si la condición de degradación no es idónea para especies que se mueven grandes distancias debido a la ausencia o baja frecuencia de sus presas principales, puede esperarse que no usen este módulo y por lo tanto no serán detectados o será menor la frecuencia de detección. En específico es posible que los depredadores tope (grandes felinos), se muevan entre diferentes módulos, pero si la diferencia en condición a pesar de la cercanía es relevante estarán preferentemente en el módulo conservado con todas las consecuencias funcionales que esto implica en el módulo medianamente degradado. Por otro lado la ventaja de establecer sitios de monitoreo con la cercanía establecida como la que hay entre módulos (aproximadamente 10 km), nos permite asumir similitud ambiental además de asegurar, por información espacial (i.e. mapas), que pertenecen a un mismo ecosistema.

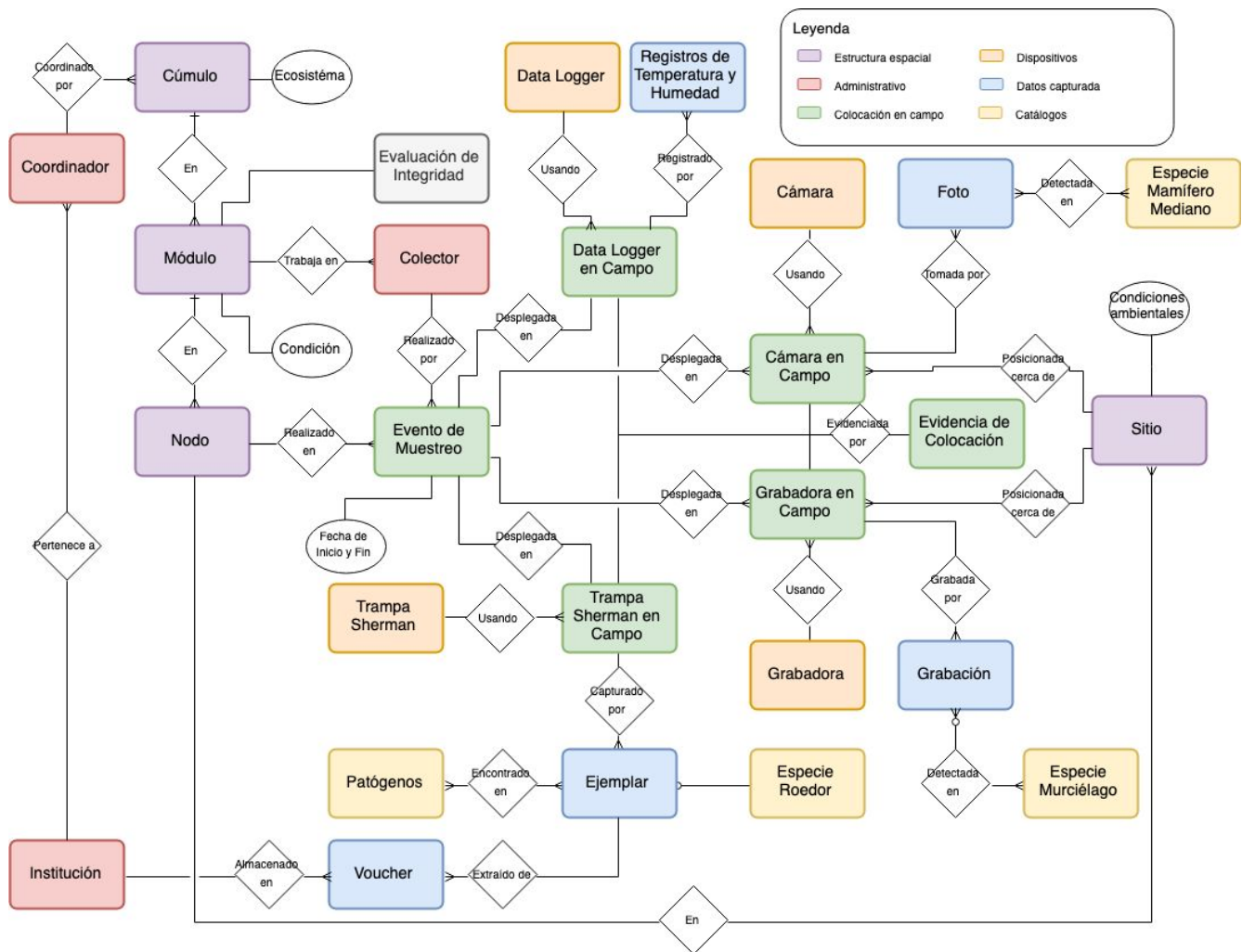
Con las trampas Sherman se obtiene la composición y riqueza de especies de roedores (y otros mamíferos pequeños), así como el número de individuos por especie capturada, y su variación espacio-temporal. La comparación de resultados en el análisis de pares armonizados de los parámetros mencionados es entre los mismos grupos taxonómicos, y entre pares de sitios con diferente grado de degradación, pero no entre diferentes grupos taxonómicos ni entre conteos con diferentes herramientas de monitoreo. Se espera, sin embargo, que la respuesta numérica de diferentes grupos taxonómicos (p.ej., roedores vs. no roedores) sea ilustrativa del impacto y, de hecho, es esperada en el sentido de que, a menor abundancia de mamíferos medianos y grandes (principalmente grupos taxonómicos diferentes de Rodentia), exista mayor abundancia de roedores. Este tipo de relaciones se explorarán a través de métodos métricos y no paramétricos (e.g., correlaciones de Spearman (r_s), entre abundancia de roedores vs no roedores por módulo).

En particular para los datos provenientes de las trampas Sherman, como se mencionó anteriormente, se analizará la diferencia en composición de especies de roedores entre los dos tratamientos: i) de manera preliminar, a través de morfo-especies, y ii) una vez concluida la fase comprometida en el proyecto, a través de la identificación de especies mediante identidad genética por código de barras. Tanto el análisis preliminar como el definitivo se llevará a cabo considerando el diseño de "matched-pairs" utilizando modelos lineales generalizados mixtos. Además, para ambos casos, se llevará a cabo el análisis de similitud en la composición a través de análisis de similitud (ANOSIM, Similarity Analyses).

En cuanto a la incidencia de ectoparásitos de roedores, los análisis más importantes conciernen a i) abundancia de roedores por unidad de área y la carga de ectoparásitos per cápita (número de ectoparásitos por hospedero), y su variación temporal, así como un análisis de redes ("network

analysis”) que describe, cuantitativamente, las conexiones entre las especies de roedores y las de ectoparásitos. A escala nacional se llevará a cabo un análisis “global” (grado de consistencia en los resultados en los diferentes cúmulos) a través de un meta-análisis con base en la abundancia de los mismos tanto en términos de carga per cápita, como por unidad de área.

ANEXO 6: Modelo de relación-identidad adaptado para SiPeCaM. Tomando en cuenta el diseño del SiPeCaM es posible identificar la siguiente estructura representada en un diagrama MRE (modelo de relación-entidad) como el siguiente:



De acuerdo a esta estructura, la base de datos deberá comprender los siguientes componentes:

1. Tablas para cúmulos, módulos, nodos y sitios en los que se capturan las siguientes relaciones jerárquicas en el espacio: cúmulo-módulo, de tipo uno a muchos; módulo-nodo, de tipo uno a muchos; nodo-sitio, de tipo uno a muchos. Este acomodo espacial implica descriptores

ambientales que serán incluidos como atributos de ecorregión, a nivel de cúmulo, condición dentro del esquema pareado a nivel de módulo y descripción de las condiciones ambientales particulares en cada punto de colocación de dispositivo, entre otros atributos posibles.

2. Una tabla de eventos de muestreo asociados a nodos haciendo explícito el periodo de muestreo y en la cual se declaren relaciones con los dispositivos colocados en campo, así como a las configuraciones empleadas. Se hace la distinción entre tablas de dispositivos y dispositivos en campo (grabadoras, cámaras, “data loggers” y trampas Sherman) para dar un mejor seguimiento al estado de cada pieza y su configuración manteniendo un inventario de las unidades físicas. De esta manera se hará claro el historial de uso para cada dispositivo, permitiendo un seguimiento detallado del muestreo en términos de datos y otorgando información sobre su funcionamiento para posibles reparaciones o reemplazos.
3. Una tabla de colectores registrados a módulos en particular, los cuales serán asociables a distintos eventos de muestreo dentro del mismo módulo. Así mismo se mantendrá un registro de los administradores de las operaciones en cada cúmulo, .
4. Cada evento de colocación será documentado a través de imágenes y metadatos plasmados en una tabla de evidencias de colocación que mantendrá relaciones biunívocas con los dispositivos empleados dentro de un evento de muestreo
5. Para el caso de grabadoras y cámaras trampa, cada colocación estará asociada a un punto en particular del hábitat (cuerpos de agua, camino, senderos, frutos presentes, etc) intentando ser representativos de la heterogeneidad propia del módulo en términos de condiciones ambientales. En el caso de las trampas Sherman y data loggers, estos se colocarán en el centro del nodo ya que la metodología implica un formato estandarizado en el espacio.
6. Para cada tipo de dato obtenido (fotos, grabaciones, mediciones y ejemplares) existirá una tabla con un diseño ad hoc al tipo de información, preservando en todos los casos las relaciones de dispositivo empleado, evento de muestreo y espacialidad según la jerarquía descrita.
7. Se incluirán tablas para patógenos y vouchers con relaciones “uno a muchos” desde cada ejemplar de origen.
8. Tanto para ejemplares como para patógenos se incluirán tablas de nombres taxonómicos para las especies identificadas relacionables con las tablas donde existan referencias.

Catálogo de campos

Tablas de estructura espacial

Cúmulo

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del cúmulo	numérico
ecosistema	Nombre del tipo de ecosistema que está presente en el cúmulo	texto
coordinador	Referencia al coordinador del cúmulo	llave

Módulo

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del módulo	numérico
Cúmulo_id	Id del cúmulo al que pertenece el módulo	llave
condición	Describe si dicho módulo es considerado íntegro o perturbado	texto
evaluación_integridad_id	Id del levantamiento de datos utilizado para caracterizar la condición del módulo	llave

Nodo

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del nodo	numérico
modulo_id	Id del módulo al que pertenece el nodo	llave

latitud	Latitud en grados decimales del centro del nodo	numérico
longitud	Longitud en grados decimales del centro del nodo	numérico

Sitio

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del sitio	numérico
nodo_id	Id del nodo al que pertenece el sitio	llave
latitud	Latitud en grados decimales del sitio	numérico
longitud	Longitud en grados decimales del sitio	numérico
condición_ambiental	Descriptor del ambiente inmediato que pueden influenciar detectabilidad	JSON

Tablas Administrativas

Colector

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del colector	numérico
nombre	Nombre del colector	text
teléfono	Número telefónico para el contacto con el colector	numérico
comunidad	Nombre de la comunidad de origen del colector	texto

Administrador (Socios-coordinadores SiPeCaM externos)

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del administrador	numérico

nombre	Nombre del administrador	texto
correo	Correo electrónico del administrador	texto
teléfono	Número telefónico del administrador	numérico
institución_id	Id de la institución a la que pertenece el administrador	texto

Institución (a la que pertenece el Administrador)

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de la institución	numérico
nombre	Nombre de la institución	texto
sitio_web	URL del sitio web de la institución	texto

Tablas de Dispositivo

Cámara

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de la cámara	numérico
marca	Nombre de la marca de la cámara	texto
modelo	Modelo de la cámara	texto
numero_serie	Número de serie de la cámara	texto

Grabadora

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de la grabadora	numérico
marca	Nombre de la marca de la grabadora	texto
modelo	Modelo de la grabadora	texto
numero_serie	Número de serie de la grabadora	texto



Data Logger

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del data logger	numérico
marca	Nombre de la marca del data logger	texto
modelo	Modelo del data logger	texto
numero_serie	Número de serie del data logger	texto

Trampa Sherman

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de la trampa sherman	numérico
descripcion	Descripción breve de la trampa sherman	texto

Tablas de colocación en campo

Evento de muestreo

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del evento de muestreo	numérico
nodo_id	Id del nodo en el que se efectuó el evento de muestreo	llave
fecha_inicio	Fecha en la que se inició el evento de muestreo	texto
fecha_fin	Fecha en la que se finalizó el evento de muestreo	texto
recolector_id	Id del recolector que efectuó el evento de muestreo	llave

Evidencia de colocación

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de la evidencia de colocación	numérico



foto	URI de la foto que evidencia la colocación	llave
fecha	Fecha en la que se capturó la foto	texto
hora	Hora en la que se capturó la foto	texto

Trampa Sherman en campo

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de la trampa sherman en campo	numérico
trampa_sherman_id	Id de la trampa sherman usada	llave
evento_muestreo_id	Id del evento de muestreo en el que fue colocada la trampa sherman	llave
configuracion	Parámetros de configuración usados en formato JSON	JSON
evidencia_colocacion_id	Id de la evidencia de colocación en campo de la trampa sherman	llave

Grabadora en campo

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de grabadora en campo	numérico
grabadora_id	Id de la grabadora usada	llave
evento_muestreo_id	Id del evento de muestreo en el que fue colocada la grabadora	llave
sitio_id	Id del sitio de colocación de la grabadora	llave
configuracion	Parámetros de configuración usados en formato JSON	JSON
evidencia_colocacion_id	Id de la evidencia de colocación en campo de la grabadora	llave

Cámara en campo

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de cámara en campo	numérico
camara_id	Id de la cámara utilizada	llave
evento_muestreo_id	Id del evento de muestreo en el que fue colocada la cámara	llave
sitio_id	Id del sitio de colocación de la cámara	llave
configuracion	Parámetros de configuración usados en formato JSON	JSON
evidencia_colocacion_id	Id de la evidencia de colocación de la grabadora en campo	llave

Data logger en campo

Tablas de datos capturados

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del data logger en campo	numérico
evento_muestreo_id	Id del evento de muestreo en el que fue colocado el data logger	llave
sitio_id	Id del sitio de colocación del data logger	llave
configuracion	Parámetros de configuración usados en formato JSON	llave
evidencia_colocacion_id	Id de la evidencia de colocación del data logger en campo	JSON
evento_muestreo_id	Id del evento de muestreo en el que fue colocado el data logger	llave



CONABIO

COMISIÓN NACIONAL PARA
EL CONOCIMIENTO Y USO
DE LA BIODIVERSIDAD



Ejemplares

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de ejemplar	numérico
trampa_id	Id de la trampa que produjo la captura	llave
especie_id	Id de especie para el ejemplar	llave

Voucher

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de voucher	numérico
ejemplar_id	Id del ejemplar	llave
institucion_id	Id de la institución que alberga el voucher	llave
tipo	Tipo de voucher obtenido (piel, sangre o cuerpo completo)	texto

Grabación

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de la grabación	numérico
grabadora_campo_id	Referencia a la grabadora en campo que produjo la grabación	llave
fecha	Fecha de inicio de la grabación	texto
hora	Hora de inicio de la grabación	texto
duracion	Duración de la grabación en segundos	numérico
canales	Número de canales grabados	numérico



tasa_muestreo	Tasa de muestreo de la grabación	numérico
tamano_muestra	Tamaño en bits de una muestra de grabación	numérico
formato	Formato del archivo de grabación	texto
tamano_archivo	Tamaño del archivo en bits	numérico
hash	Hash md5 del archivo	texto
uri	URI del archivo de grabación	texto

Foto

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de la foto	numérico
camara_campo_id	Referencia a la cámara en campo que produjo la foto	llave
fecha	Fecha de captura de foto	texto
hora	Hora de captura de foto	texto
ancho	Ancho de foto en pixeles	numérico
alto	Alto de foto en pixeles	numérico
profundidad_pixel	Tamaño en bits de pixel	numérico
canales	Número de canales por pixel	numérico
formato	Formato del archivo de imagen	texto
tamano_archivo	Tamaño del archivo en bits	numérico
hash	Hash md5 del archivo	texto
uri	URI del archivo de foto	texto

Registros de humedad y temperatura

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del archivo de humedad y temperatura	numérico
data_logger_id	Referencia al data logger en campo que produjo el archivo	llave
fecha_inicio	Fecha de inicio de captura	texto
fecha_fin	Fecha de finalización de captura	texto
tasa_muestreo	Tasa de muestreo de datos (capturas/hora)	numérico
formato	Formato del archivo	texto
tamano_archivo	Tamaño del archivo en bits	numérico
hash	Hash md5 del archivo	texto
uri	URI del archivo	texto

Tablas de catálogos

Especie roedor

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del nombre específico	numérico
binomial	Clave binomial del nombre específico	texto

Especie patógeno

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del nombre específico	numérico
binomial	Clave binomial del nombre específico	texto

Especie mamífero mediano

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del nombre específico	numérico
binomial	Clave binomial del nombre específico	texto

Especie murciélago

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador del nombre específico	numérico
binomial	Clave binomial del nombre específico	texto

Tablas de Identificación

Patógenos en ejemplar

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de detección de patógeno	numérico
ejemplar_id	Id del ejemplar hospedero	llave
especie_patogeno_id	Id de la especie del patógeno	llave

Murciélagos en grabación

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de detección de murciélago	numérico
grabacion_id	Id de la grabación	llave
especie_murcielago_id	Id de la especie del murciélago	llave
identificador	Nombre del identificador	texto
certidumbre	Medida de certidumbre de la identificación	numérico

Mamífero en foto

Nombre del Campo	Descripción	Tipo de Dato
id	Identificador de detección de mamífero mediano	numérico
foto_id	Id de la foto	llave
especie_mamifero_id	Id de la especie de mamífero	llave
identificador	Nombre del identificador	texto
certidumbre	Medida de certidumbre de la identificación	numérico



CONABIO

COMISIÓN NACIONAL PARA
EL CONOCIMIENTO Y USO
DE LA BIODIVERSIDAD



ANEXO 7. Productos útiles potenciales para acciones de Conservación de la Biodiversidad

Para el estudio del efecto de la actividad humana sobre la fauna es crucial conocer la composición y abundancia o actividad de las especies que prevalecen actualmente. Esto permitirá estimar los elementos clave que son sensibles a la degradación y sobre los cuales deberían enfocarse los monitoreos los cuales son acciones de conservación practicadas comúnmente y donde dichos elementos clave puedan ser utilizados como indicadores de la degradación de los ecosistemas.

SiPeCaM permitirá detectar los parámetros clave que nos dan indicios de un ecosistema íntegro y los ausentes en uno parcialmente degradado para tomar en cuenta acciones tempranas de conservación de la biodiversidad y poder incentivar la planeación para revertir las tendencias negativas. Asimismo se podrán desarrollar recomendaciones y establecer alertas en salud humana ante la dominancia de paisajes con cierto grado de degradación para evitar enfermedades zoonóticas.

Con base a esto reconocemos la siguiente lista de productos potenciales para acciones de conservación enfocados en el proceso de Defaunación:

- 1) Magnitud de la diferencia de composición de mamíferos y grupos funcionales, así como la diferencia en abundancia entre pares de cúmulos de cada ecosistema, con base a la generación de Inventarios verificados de especies de mamíferos (mamíferos voladores, pequeños, medianos y de gran tamaño). Permitirá por ecosistema emitir recomendaciones de monitoreo de grupos específicos de fauna.
- 2) Especies indicadoras: Especies y grupos funcionales de mamíferos sensibles a la degradación por ecosistema. Permitirá, por ecosistema, emitir recomendaciones de monitoreo de especies particulares de fauna para asegurar su prevalencia dadas sus características ecológicas y biológicas.
- 3) Magnitud de la diferencia en composición y abundancia de pequeños mamíferos con base al Inventario de ectoparásitos de pequeños mamíferos, entre pares de cúmulos de cada ecosistema con factibilidad de monitoreo en el país
- 4) Inventario de ectoparásitos que, por efecto de la defaunación, permitirá evaluar la relevancia de las zonas conservadas en términos de servicios de salud humana. SiPeCaM, mediante el registro de fauna en una amplia gama de grupos taxonómicos (mamíferos de talla mediana y grande, pequeños mamíferos y sus ectoparásitos, y quirópteros), permitirá comprobar que la mayor prevalencia de estos inciden en prestar servicios en la salud humana. Bajo la premisa de que los roedores son hospederos/reservorios más prevalentes en sitios defaunados, la incidencia de los mamíferos medianos y grandes nos permitirán poner a prueba dicha hipótesis
- 5) Ecosistemas más susceptibles a prestar servicios de salud humana. Actualmente se tiene un escaso conocimiento de la prevalencia de vectores entre diferentes ecosistemas. La diferencia en magnitud de composición y abundancia de roedores y ectoparásitos permitirá (por la escala nacional, SiPeCaM) aportar conocimiento sobre dónde los vectores-ectoparásitos de enfermedades son mas beneficiadas por la degradación y priorizar acciones sobre las regiones con ecosistemas mas vulnerables.

ANEXO 8: Áreas Naturales Protegidas, Sitios Ramsar y Áreas de Importancia para la Conservación de Aves (AICAs) con sitios potenciales de muestreo en el SIPECAM

Área Natural Protegida	Categoría de Manejo
Cañón del Usumacinta	APFyF
Laguna de Términos	APFyF
Laguna Madre y Delta del Río Bravo	APFyF
Meseta de Cacaxtla	APFyF
Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui	APFyF
Sierra La Mojonera	APFyF
C.A.D.N.R. 004 Don Martín	APRN
C.A.D.N.R. 026 Bajo Río San Juan	APRN
C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	APRN
Z.P.F. en los terrenos de La Concordia, Ángel Albino Corzo, Villa Flores y Jiquipilas	APRN
Cumbres de Monterrey	PN
Calakmul	RB
Chamela-Cuixmala	RB
El Triunfo	RB
El Vizcaíno	RB
Janos	RB
La Encrucijada	RB
La Sepultura	RB
Los Petenes	RB
Los Tuxtlas	RB
Mapimí	RB
Mariposa Monarca	RB
Marismas Nacionales Nayarit	RB
Montes Azules	RB
Pantanos de Centla	RB
Selva El Ocote	RB
Sierra de Manantlán	RB
Sierra de Tamaulipas	RB
Sierra Gorda	RB
Sierra Gorda de Guanajuato	RB
Tehuacán-Cuicatlán	RB
Zicuirán-Infiernill	RB

Nombre de los Sitios Ramsar	Estado
Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala	Jalisco
Ecosistema Sierra de Ajos - Bavispe Zona de Influencia Cuenca Río San Pedro	Sonora
Sistema Ripario de la Cuenca y Estero de San José del Cabo	Baja California Sur
Reserva de la Biosfera Los Petenes	Campeche
Área de Protección de Flora y Fauna de Laguna de Términos	Campeche
Área de Protección de Flora y Fauna Laguna Madre	Tamaulipas
Marismas Nacionales	Sinaloa, Nayarit
Reserva de la Biosfera La Encrucijada	Chiapas
Pantanos de Centla	Tabasco

Áreas de Importancia para la Conservación de Aves

Sierra de Valparaíso El Potosí	Laguna de Términos Sierra de Atoyac-Bosques de Niebla de Costa Grande
Corredor Laguna Bélgica-Sierra Limón-Canon Sumidero	Sierra de Santa Rosa
Cuenca Baja del Balsas	San Nicolás de los Montes
La Encrucijada	Montes Azules
Janos-Nuevo Casas Grandes	Lagos de Montebello
Complejo Lagunar San Ignacio	Los Tuxtlas
Mapimí	Sierra Chincua
Calakmul	Marismas Nacionales
Selvas Secas de San Ignacio	Laguna Madre
Sierra del Burro	Sierra de Manantlán
Humedales del Noroeste de Chihuahua	Sierra Maderas del Carmen
Chamela-Cuixmala	Tlanchinol-Bosque de Montana del Noroeste de Hidalgo
Sur de Quintana Roo	Sierra de Zongolica
Carricitos-Meseta de Cacaxtla	Pantanos de Centla
Los Petenes	Reserva de la Biosfera Sierra Gorda
El Ocote	El Triunfo
Sierra de Tamaulipas	Sierra de Arteaga
Cuchillas de la Zarca	Valle de Tehuacán - Cuicatlán
Sierra de Miahuatlán	Corredor Calakmul-Sian Ka'An
Sistema de Sierras de la Sierra Madre Occidental	



ANEXO 9: Especies de importancia para la conservación registradas en foto-trampas en el SNMB

Especies	NOM	Prioritarias	CITES	IUCN
Mamíferos				
Eira barbara	En peligro de extinción	-	III	-
Dicotyles tajacu	-	-	II	-
Antilocapra americana	En peligro de extinción	Alta prioridad	I	-
Mazama temama	-	Alta prioridad	-	Deficiente de datos
Mazama pandora	-	Alta prioridad	-	Vulnerable
Ursus americanus	-	-	II	Preocupación menor
Leopardus wiedii	En peligro de extinción	-	I	Preocupación menor
Tamandua mexicana	En peligro de extinción	-	III	Preocupación menor
Lynx rufus	En peligro de extinción	-	II	
Leopardus wiedii	En peligro de extinción	-	I	Casi Amenazado
Leopardus pardalis	En peligro de extinción	-	I	-
Herpailurus yagouaroundi	Amenazada	-	I	Preocupación menor
Panthera onca	En peligro de extinción	Alta prioridad	I	Casi Amenazado
Tapirus bairdii	En peligro de extinción	Alta prioridad	I	En peligro
Puma concolor	-	-	II	Preocupación menor
Aves				
Crax rubra	Amenazada	-	III	Vulnerable
Meleagris ocellata	Amenazada	Alta Prioridad	III	Casi Amenazado
Meleagris gallopavo	-	Alta prioridad	-	-
Penelope purpurascens	Amenazada	-	III	Preocupación menor

- Ahumada JA, Hurtado J, Lizcano D. 2013. Monitoring the Status and Trends of Tropical Forest Terrestrial Vertebrate Communities from Camera Trap Data: A Tool for Conservation. PLoS ONE 8(9): e73707.
- Díaz-Pulido, A. y E. Payán Garrido. 2012. Manual de fototrampeo: una herramienta de investigación para la conservación de la biodiversidad en Colombia. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Panthera Colombia. 32 pp.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R., Molnár, Z., Hill, R., Kai M. A., Baste, I. A., Brauman, K., Polasky, S., Lonsdale, Larigauderie, A., Leadley, P., van Oudenhoven, A., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bukvareva, E., Davies, K., Demissew, S., Gunay and Failler, P., Guerra, C., Hewitt, C., Keune, H., Lindley, S., Shirayama, Y. 2018. Assessing nature's contributions to people. *Science* 359: 270-272
- Dirzo, R., Young, H.S., Ceballos, G., Collen, B., Galetti, M. 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345, 401-406
- Equihua M. M. N. García Alaniz, O. Pérez-Maqueo, G. Benítez Badillo, M. Kolb, M. Schmidt, J. Equihua Benítez, P. Maeda, J.L. Álvarez Palacios. 2015. Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental. Ecological integrity as indicator of environmental quality -Integridad ecológica como indicador de la calidad ambiental. El Colegio de la Frontera Sur. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático 687-710.
- Hayes, J.P. 1997. Temporal Variation in Activity of Bats and the Design of Echolocation-Monitoring Studies, *Journal of Mammalogy* 78, Issue 2, 21: 514–524.
- MacSwiney G., M. C., Clarke, F. M. and Racey, P. A. (2008), What you see is not what you get: the role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in Neotropical bat assemblages. *Journal of Applied Ecology*, 45: 1364-1371.
- Monroy-Vilchis, O. Zarco-González, M. M, Rodríguez-Soto, C. Soria-Díaz, Leroy, & Urios, V. 2011. Fototrampeo de mamíferos en la Sierra Nanchititla, México: abundancia relativa y patrón de actividad. *Revista de Biología Tropical*, 59(1), 373-383.
- O'Brien, T., M. Kinnaird & H. Wibisono. 2003. Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical landscape. *Anim. Conserv.* 6: 131-139.

Porras, L.P.; Vazquez, L.B.; Sarmiento-Aguilar, R.; Douterlungne, D. & Valenzuela-Galván, D. 2016. Influence of human activities on some medium and large-sized mammals' richness and abundance in the Lacandon Rainforest. *Journal for Nature Conservation*, 34: 75-81.

Shannon G, Lewis JS, Gerber BD. 2014. Recommended survey designs for occupancy modelling using motion-activated cameras: insights from empirical wildlife data. *PeerJ* 2:e532

Tobler, M. W., S. E. Carrillo-Percastegui, R. Leite-Pitman, R. Mares y G. Powell. (2008). An evaluation of camera traps for inventorying large-and medium- sized terrestrial rainforest mammals. *Animal Conservation* 11:169-178.

Young, H.S., Dirzo, R., Helgen, K.M., McCauley, D.J., Billeter, S. Kosoy, M. Osikowicz, L., Salkeld, D., Young, T.P., Dittmar, K. 2014. Declines in large wildlife increase landscape-level prevalence of a rodent-borne disease in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*
www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1404958111

Young, H. S., Dirzo, R., McCauley, D. J., Agwanda, B., Cattaneo, L., Dittmar, K., Eckerlin R.P., Fleischer R.C., Helgen L.E., Hintz A., Montinieri J., Zhao S., Helgen K.M. 2015. Drivers of intensity and prevalence of flea parasitism on small mammals in East African savanna ecosystems. *The Journal of Parasitology*, 101(3), 327-335.

Zar, J. 2015. *Biostatistical analysis*. 5th. Edition. Prentice Hall.