

Reporte sobre los Elementos Focales de Manejo

Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde
SiReP

Programa Investigación
Yoryineth Méndez Corrales

Diciembre 2024



Tabla de contenido

1. Introducción	3
2. Definición y justificación de los EFM	4
3. Monitoreo de los EFM	9
4. Resultados del monitoreo en los EFM	14
5. Conclusiones.....	35
6. Referencias	44



1. Introducción

Las áreas protegidas son claves para la conservación de la biodiversidad. Están enfocadas a mantener ecosistemas naturales operativos, actuar como refugios para las especies y mantener procesos ecológicos incapaces de sobrevivir en los entornos terrestres y marítimos con un mayor nivel de intervención. Las áreas protegidas funcionan como indicadores que nos permiten conocer las interacciones humanas con el mundo natural. Frecuentemente constituyen la última esperanza con la que contamos para impedir la extinción de muchas especies amenazadas o endémicas (Dudley, 2008)

Los proyectos basados en objetos se enfocan en especies o ecosistemas específicos. El alcance basado en especies puede incluir parte o todo el ciclo de vida de una especie a través de su área de distribución (Conservation Measures Partnership, 2020).

Los objetos de conservación (objetos de biodiversidad, valores naturales o elementos focales de manejo) son entidades específicas y tangibles que el proyecto busca conservar y que, en conjunto, representan y engloban la biodiversidad general del sitio o el foco de un proyecto temático. Los objetos de conservación constituyen la base para establecer los objetivos del proyecto, seleccionar las estrategias y medir la efectividad de sus intervenciones (Conservation Measures Partnership, 2020).

Para determinar los Elementos Focales de Manejo (EFM) de la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde (RBBNM), se partió de su definición como aquel “elemento de la biodiversidad, socioeconómico o cultural dentro o fuera de los límites del ASP que representa sus valores, definidos mediante una metodología para tales efectos y que actúan como puntos de enfoque de las estrategias. Una característica distintiva es que la conservación de estos elementos asegura la conservación de otros elementos del mismo tipo” (SINAC, 2014).

Con base a este concepto la reserva (RBBNM) seleccionó los siguientes EFM dentro del proceso técnico de formulación del Plan General de Manejo: 1) ecosistema boscoso, 2) sistema hídrico, 3) aves migratorias, 4) herpetofauna (Arguedas, Sierra, & Valverde, 2019)

La mayoría de los EFC han sido monitoreados por el Programa de investigación de la reserva por más de cinco años continuos, tanto por las investigaciones institucionales como por las investigaciones interinstitucionales con otros aliados nacionales. El presente reporte integra la definición de cada uno de los EFM, la metodología empleada para su monitoreo, los principales resultados y conclusiones generadas en su periodo de estudio.



2. Definición y justificación de los EFM

La selección, definición y justificación de cada Elemento Focal de Manejo, fueron desarrollados en la caracterización y diagnóstico de la RBNNM, como insumos para el Plan General de Manejo (Arguedas, Sierra, & Valverde, 2019).

2.1 Ecosistema Boscoso

- **Definición**

Los hábitats boscosos en el área de Monteverde corresponden a tres tipos generales de vegetación: bosque estacional de la vertiente Pacífica, bosque lluvioso de la vertiente Caribe y bosque nuboso (CCT, 2005).

El bosque estacional de la vertiente Pacífica es mayormente perennifolio, pero estacionalmente seco quedando en la sombra de los cerros de la divisoria continental (Haber, 2014). Este bosque se encuentra principalmente entre los 700 y 1.500 msnm formando la parte más marcada de este gradiente altitudinal de la vertiente del Pacífico.

El bosque nuboso es resultado de las condiciones geográficas que hacen que haya una permanencia de nubes en contacto con la vegetación o el suelo durante la mayor parte del año. Esto hace que hasta un 60% de la captación de agua venga de la condensación o intercepción horizontal (SINAC, 2016). El bosque nuboso, cubierto de nubes y neblina, se encuentra principalmente sobre los 1.500 msnm en la vertiente del Pacífico y arriba de los 1.400 msnm en el lado Caribe. La mayor parte de su extensión dentro de la Cordillera está incluida dentro de la ZPAM (SINAC, 2016).

- **Justificación**

Los bosques de la vertiente Pacífica han sufrido los grados más altos de destrucción y fragmentación por impacto humano y ocupan un área limitada en esta región. Aunque cuenta con una menor diversidad de especies que los bosques lluviosos de la vertiente del Caribe, este bosque juega un papel sumamente importante en el mantenimiento de la diversidad regional, ya que cuenta con muchas especies de distribuciones restringidas sobre el gradiente altitudinal y muchas especies migratorias que dependen de estos bosques de forma estacional. Asimismo, este bosque tiene unas áreas pequeñas protegidas que se encuentran fuera de la Zona Protectora Arenal Monteverde (ZPAM) como el Bajo del Tigre, administrado por la ACM y la Reserva Biológica de San Luis (RBSL) administrado por el Centro Científico Tropical (CCT). Estas áreas, junto con la Zona Protectora de Abangares (ZPA), forman núcleos importantes dentro del Corredor Biológico Pájaro Campana (CBPC), el cual cubre desde la vertiente Pacífica de la ZPAM hasta los manglares del Golfo de Nicoya.



El bosque nuboso facilita la captación y regulación del flujo de agua hacia las dos vertientes y contiene especies que son únicas de este tipo de hábitat. Las cumbres y riscos merecen atención especial debido a que ahí se encuentran especies raras, endémicas y con distribuciones muy restringidas. El monitoreo del bosque nuboso puede ser importante también para entender cómo responden las especies y ecosistemas a los cambios climáticos.

Además, en el año 2015, se registró por primera vez en el bosque nuboso una video-captura de jaguar (*Panthera onca*) (enlistado como una especie Casi Amenazada según la UICN). El último registro se había realizado en el año 2000 en Peñas Blancas. El registro del 2015 reafirma la importancia de seguir con los esfuerzos de conservación en el área, considerando que el jaguar, como depredador tope podría ser un indicador del estado del bosque o un estabilizador de los ecosistemas (Y. Méndez Corrales com. pers., 2019).

2.2 Sistema Hídrico

• Definición

Dentro del sistema hídrico se incluyen los humedales de agua dulce, es decir los sistemas fluviales, lacustres y palustres (Proyecto Humedales, 2018).

Los sistemas fluviales (ríos, quebradas, riachuelos y nacientes) son dinámicos, complejos e integradores, con múltiples conexiones con el resto de los ecosistemas, ya que cuentan con conectividad longitudinal, lateral y vertical. Los ríos, a través de su conectividad longitudinal, tienen la capacidad de autorrecuperarse ya que el flujo de corriente permite volver a oxigenar el agua y las bacterias y hongos autóctonos se encargan de la materia orgánica (Encalada, 2010).

En la Reserva se originan los ríos Peñas Blancas, Chiquito y Caño Negro que drenan sus aguas en la vertiente Caribe (cuenca del río San Carlos), abarcando un total de 2.602,7 ha. Esta cuenca es de gran valor económico, ya que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) tiene en proyecto la captación de las aguas del río Peñas Blancas para la generación de energía hidroeléctrica (CCT, 2005).

Los ríos Veracruz, San Luis y Guacimal drenan en la vertiente Pacífica (cuenca del río Guacimal), y abarcan dentro de la reserva 1.042,3 ha. La cuenca del río Guacimal, es muy importante por la existencia de las quebradas La Máquina, Alondra, Cuecha, y el río San Luis, que abastecen de agua potable a la población en la región para actividades domésticas, agrícolas, ganaderas y turísticas (CCT, 2005).

Los sistemas palustres incluyen todos los humedales de tipo no mareal, con las siguientes características: 1) Pueden contener cobertura vegetal o no, la vegetación puede estar representada por dominancia de árboles, arbustos, vegetación arbustiva, vegetación emergente, musgos y/o líquenes, 2) Los niveles de profundidad en las depresiones no exceden dos metros. 3) Los valores de salinidad derivada de sales



oceánicas no exceden de 0.5% ppm (yolillales, bosques anegados de agua dulce, pantanos) (Proyecto Humedales, 2018).

Entre los palustres predominan los pantanos arbolados, como los yolillales y bosques anegados con presencia de diversas especies, y los pantanos herbáceos, representados por grandes extensiones de pastos para ganadería, pastos anegados en estado natural y espejos de agua de poca profundidad con plantas herbáceas en su interior (Proyecto Humedales, 2018).

Hay pequeñas áreas pantanosas principalmente en las cimas de las colinas dentro del bosque nuboso.

- **Justificación**

La RBBNM incluye un área de captación y regulación de flujo de aguas que es clave para especies de ranas, cangrejos, libélulas y otros cuyos ciclos de vida dependen del agua. Las áreas de agua permanente en forma de lagunas, lagunetas, estanques son importantes criaderos para hasta el 60% de las libélulas y caballitos del diablo (Alonso Ramírez 2014). Al igual, hasta el 60% de los sapos y ranas dependen de estas áreas durante parte o todo de su ciclo de vida (SINAC, 2016).

El recurso hídrico formó un componente clave en el decreto original de la Reserva Forestal Arenal (RFA) mediante decreto ejecutivo No 6934-A del 15 de abril de 1977 y su redefinición como ZPAM (Decreto Ejecutivo N° 20169-MIRENEM de 24 de enero de 1991) (SINAC, 2016). También, hay muchas fincas y empresas turísticas que dependen de este recurso. Hay un factor histórico también ya que uno de los primeros esfuerzos de proteger un área de bosque dentro de la cordillera de Tillarán fue el establecimiento de las 554 ha protegidas por miembros de la comunidad de Monteverde bajo el Bosqueterno S. A. con fines de proteger el recurso hídrico para sus fincas, hogares y la fábrica de quesos, hoy propiedad de SIGMA alimentos (compañía de propiedad mejicana). Adicionalmente, se usaron aguas protegidas por esta reserva para operar una planta hidroeléctrica privada que abasteció de electricidad a la comunidad de Monteverde y los pueblos vecinos por muchos años (SINAC, 2016).

2.3 Aves migratorias altitudinales (*Pharomachrus mocinno* y *Procnias tricarunculatus*)

- **Definición**

El quetzal (*Pharomachrus mocinno*) se mueve estacionalmente desde sitios de anidación de altura a elevaciones bajas en ambas pendientes. El comienzo de la migración de Pájaros Campana (*Procnias tricarunculatus*) es similar a la del quetzal, con reproducción cerca de la división continental de marzo a junio, y un movimiento post-reproductor hacia abajo en la pendiente Pacífica a la zona bosque muy húmedo premontano durante agosto y setiembre.



Las especies migratorias se encuentran en todos los tipos de bosque de la RBBNM, siendo de particular importancia los bosques de la vertiente del Pacífico, donde la mayor estacionalidad y cambio micro climático son elementos clave para un grupo significativo de las especies que dependen de hacer migraciones anuales. Esto, en parte, está determinado por una secuencia altitudinal de producción de recursos como frutos, flores y hojas nuevas.

- **Justificación**

Este elemento va muy de la mano con mantener los elementos de bosque nuboso, tanto en la vertiente del Caribe como en la vertiente Pacífico, ya que su buen funcionamiento y mantenimiento a largo plazo dependerá de la presencia de muchas especies que se encuentran dentro de la ZPAM solo durante parte del año, pero que pueden ser críticas para la dispersión de semillas, polinización o control de plagas. Incluye varias especies consideradas en peligro de extinción o amenazadas que anidan dentro de la ZPAM como son: el Pájaro Campana (*Procnias tricarunculatus*), el Quetzal (*Pharomachrus mocinno*) y el Pájaro Sombrilla (*Cephalopterus glabricollis*).

Algunas de las especies de aves que hacen migraciones latitudinales que son de preocupación particular son la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*), la Reinita Hornera (*Seiurus aurocapilla*) y la Zorzal del Bosque (*Hylocichla mustelina*).

El pájaro campana (*Procnias tricarunculatus*) es un ave en peligro de extinción que se encuentra solamente en Centro América desde el sudeste de Honduras hasta el oeste de Panamá. El declive del pájaro campana a partir de 1998 se ha relacionado con la pérdida de hábitat en el bosque lluvioso de la vertiente Caribe. Esta especie es relevante desde el punto de vista de la conservación ya que está categorizada como amenazada en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. Las migraciones del pájaro campana resaltan la necesidad de medidas de conservación. Aunque su área reproductiva está adecuadamente protegida en Monteverde, el pájaro campana invierte la mitad de su ciclo anual en tierras desprotegidas (Young, 2014).

Los Quetzales tienen ciertas características que los hacen vulnerables y susceptibles a la extinción: densidades poblacionales bajas, se alimentan de recursos que ocurren en parches, son especialistas en su dieta, tienen requerimientos ecológicos restrictivos, baja dispersión en largas distancias, habitan zonas pequeñas y son muy susceptibles a la depredación o a la competencia (Wheelwright, 1983). Los cambios climáticos en la región de Monteverde en la Cordillera de Tilarán, Costa Rica, han alterado la distribución y abundancia de una amplia gama de aves, incluido el quetzal, el cual ha desaparecido como especie reproductora de la parte suroeste de su ámbito en la vertiente Pacífica, cerca de la RBBNM (RBBNM, 2019).



2.4 Herpetofauna (*Isthmohyla angustilineata*, *Isthmohyla rivularis* y *Norops leditzigorum*)

- **Definición**

Un segmento grande de la herpetofauna de Monteverde ha desaparecido de hábitat sin perturbar, 11 años después de la caída poblacional de varias especies que llevó a un estado de desapariciones (CCT, 2005). Las especies foco definidas en el Diagnóstico del plan de manejo son: *Isthmohyla angustilineata*, *Isthmohyla rivularis* y *Norops leditzigorum*), las cuales se encuentran en un estado de peligro y peligro crítico, especialmente los anfibios.

- **Justificación**

La dramática reducción de ranas de vidrio fue parte de una disminución de anfibios más amplia en Monteverde. Una caída repentina de las poblaciones en 1987 afectó a especies en toda el área y llevó a la desaparición de muchas. La desaparición que ha llamado más atención es la del sapo dorado (*Bufo periglenes*). Esta especie, conocida únicamente como propia del bosque enano en las filas altas de Monteverde, es famosa por su apariencia llamativa y el espectáculo colorido de sus reuniones de apareamiento. Dado que el sapo dorado había sido abundante en el área por un mínimo de 17 años consecutivos en hábitats aparentemente prístinos, su desaparición repentina causó mucha alarma y consternación (Pounds et al. 1997). El colapso de 1987 afectó todas las zonas climáticas y de vegetación en la región (Pounds et al. 1997), y por lo tanto todos los componentes geográficos de la diversidad de especies. La proporción alta de especies endémicas entre las ranas, los sapos y las salamandras de Monteverde sugiere que los anfibios del área generalmente son más vulnerables a la extinción regional o global que los reptiles (Wheelwright & Nadkarni, 2014).

A través del monitoreo de anfibios y de herpetofauna que se lleva a cabo regularmente, se han registrado especies de anfibios que se consideraron desaparecidas del sitio por 30 años. Aunque la presencia de estas especies da un rayo de esperanza, su abundancia es muy baja, lo que indica poca recuperación durante los 30 años desde el colapso, como es el caso de *Isthmohyla angustilineata* (Y. Méndez Corrales, com. pers., 2019).



3. Monitoreo de los EFM

3.1 Ecosistema boscoso

Para conocer la salud del bosque se ha seleccionado los mamíferos terrestres medianos y grandes como indicadores del bosque en general. Para los años 2021-2023 se desarrolló el Monitoreo de Mamíferos en la Zona de Uso Público (ZUP), para además conocer si existe un impacto de la visitación sobre los mismos.

Para esto se seleccionaron estaciones de muestreo de manera sistemática en la periferia de los senderos. En cada estación se colocan dos cámaras de forma perpendicular al sendero: la primera a 10 metros del sendero, para evaluar el efecto de la visitación, y la segunda a 50 metros, como control. Las cámaras se ubican en sitios donde se identificaron senderos naturales de fauna (pasos de animales). Cada estación permanece activa durante tres meses, y al concluir este periodo, las cámaras se trasladaron a nuevas ubicaciones para un segundo periodo de tres meses. En total, se instalaron ocho estaciones por periodo, sumando un total de 32 estaciones de muestreo. Las cámaras utilizadas fueron modelos Bushnell Trophy Cam Aggressor 119774 y Bushnell Trophy Cam HD Aggressor 119876 (Programa Investigación-RBBNM, 2024)

Aunado a este monitoreo de mamíferos, se cuenta con el proyecto de Parcelas Permanentes de Monitoreo (PPM), el cual contempla 7 parcelas de 1 hectárea en diversos pisos altitudinales de la reserva y en ambas vertientes; Caribe y Pacífica. Este proyecto se desarrolla desde el 2008, en conjunto con el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR) de la Universidad Nacional (UNA), el cual sistematiza y analiza los datos de cada una de las parcelas.

La metodología utilizada para el establecimiento de las parcelas y su medición está basada en el *“Protocolo de establecimiento y medición de Parcelas Permanentes de Muestreo en bosque natural”* (Sánchez, 2013).

3.2 Sistema Hídrico

Actualmente solo se dispone del monitoreo de la quebrada Cuecha (contigua al Laboratorio), por parte del proyecto externo “Adopte una quebrada” liderado por el Instituto Monteverde.

Los estudiantes y/o voluntarios de la comunidad junto con la investigadora principal monitorearon en el año 2021 y 2022 la quebrada Cuecha (Reserva) 6 veces. Se trabaja con estudiantes del Grupo Reverde de la Reserva de Monteverde y con voluntarios de la comunidad y grupos de estudiantes extranjeros del Instituto Monteverde.

En cada monitoreo se toman datos de: el ancho del río, # de pozas, características del fondo (% de rocas, piedras medianas o pequeñas, grava o arena), color y olor del agua,



velocidad del agua/ profundidad con ayuda de una cinta métrica, regla de 1m, una pelota de ping-pong y un cronómetro para medir el caudal de la quebrada, tipo de vegetación que la rodea y tipo de pendientes o borde de la quebrada. Igualmente, se tomaron datos de las condiciones climáticas.

Para el 2022 no se colectó datos de los siguientes parámetros físicos-químicos: total de sólidos disueltos (TDS), turbidez, temperatura del agua, pH, conductividad y oxígeno disuelto porque la sonda multiparámetros YSI 556 mps se dañó. Solo se midió la turbidez del agua con un turbidímetro LaMotte 2020we y se determinó la cantidad de nitrato y fosfato con un kit de medición La Motte TesTabs.

Se usó muestreos cualitativos para colectar muestras de macroinvertebrados presentes en los diferentes microhabitats de las quebradas o ríos, con ayuda de coladores de cocina, para usarlos como bio-indicadores de la calidad del agua.

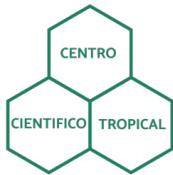
Se pidió a los estudiantes que al menos duraran un minuto colectando la muestra y que cada pareja de estudiantes colectara al menos unas 2-3 muestras de 1 min., normalmente hay entre 3-4 equipos colectando muestras. En total el tiempo de muestreo de invertebrados dura unos 30 minutos. En cada muestreo los estudiantes buscaron macro-invertebrados moviendo el fondo rocoso o lodoso, entre la hojarasca y troncos y en los rápidos y aguas estancadas para tratar de incluir la mayor cantidad de micro-hábitats.

Las muestras colectadas se separaron en el campo con ayuda de bandejas blancas y pinzas, y se anotó el número de individuos por grupo taxonómico: orden o familia; para la identificación de los macroinvertebrados, se usaron guías de campo especiales como la guía de bioindicadores de Vásquez et al. (2010), los organismos fueron devueltos al río una vez identificados. Solo se colectó, uno o dos individuos por cada grupo taxonómico en caso de duda, en un vial con alcohol al 70% identificado por sitio y fecha para verificar su identificación con ayuda de un estereoscopio en el laboratorio del IMV. Estos individuos colectados quedaron como colección educativa de referencia en el laboratorio del IMV. Con la información de los grupos taxonómicos o familias se calculó el índice BMWP-CR establecido en el reglamento para la evaluación y clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales del MINAE (Decreto N°33903, 17 septiembre 2007) para determinar la calidad del agua de las quebradas monitoreadas (Moreno, 2023).

3.3 Aves migratorias altitudinales

- **Monitoreo del Quetzal**

El monitoreo del quetzal se realiza cada año, entre los meses de febrero y junio, cuando los quetzales están presentes en la Reserva.



El trabajo de campo para este proyecto se desarrolla en tres etapas (2015-17, 2018-22 y 2023 - actual), con ligeras diferencias en la ubicación de los puntos de muestreo entre ellas. Para combinar los puntos de las tres etapas, trazamos un área de influencia con un radio de 100 m alrededor de cada uno y si había un traslape de 50% o más entre puntos de diferentes años los considerábamos como el mismo punto en los diferentes años. Esto resulta en un conjunto de datos con 37 puntos de muestreo, aunque se visitaron 48 puntos en las primeras dos etapas y 28 puntos en la última. Esta disminución en puntos entre las dos primeras etapas y la última se debe a que en las anteriores había mucho traslape entre los radios de detección de distintos puntos, es decir se podía estar detectando el mismo Quetzal desde dos puntos de conteo diferentes, lo que crearía un error en el muestreo. Por lo tanto, para la localización de los puntos a partir del 2023 se intentó que entre puntos hubiera una distancia de 250m en línea recta, para esto se utilizó el programa QGIS.

Las visitas de muestreo se realizan entre las 7:30 am y el mediodía en las dos primeras etapas y a partir del 2023 es de 5:30am a 10:00am, con una duración de quince minutos, donde se cuenta el número de quetzales observados o escuchados dentro de un radio de 100 m desde el sitio. Una vocalización se cuenta como proveniente de un nuevo quetzal cuando se escucha simultáneamente con la de un ave previamente escuchada, o cuando proviene de una dirección diferente. Las aves observadas se cuentan como nuevas cuando son de un sexo diferente, se ven al mismo tiempo o llegan desde una dirección distinta a aquella en la que desapareció un ave previamente vista. En las dos primeras etapas cada ruta la recorrían dos observadores juntos, iniciando desde el punto 1, generando una réplica por ruta, para la tercera etapa un observador empieza en el primer punto y el otro en el último punto, generando dos réplicas por ruta. Los sitios de muestreo abarcan un rango altitudinal de aproximadamente 200 m, entre 1,470 y 1,683 m sobre el nivel del mar. La distancia promedio entre cada sitio y su vecino más cercano es de 227.10 m; considerando el radio de observación de 100 m, el área total de muestreo combinada de todos los sitios abarca 117.4 ha (Programa Investigación-RBBNM, 2024).

- **Ojos sobre el quetzal y cambio climático**

A través del proyecto Ojos sobre el quetzal resplandeciente y el cambio climático, se monitorea la ecología e impacto del cambio climático sobre el quetzal por medio de 15 nidos artificiales.

Cada nido tiene una altura aproximada de un metro, con un diámetro de 30-35 cm, la entrada del nido es de 10 cm de radio, el cual se comunica con la cavidad que cuenta con una profundidad de 25 cm. Se llena con viruta del mismo tronco, el cual permite que los quetzales ejerzan su instinto de limpieza y acondicionen el nido para posteriormente iniciar con la incubación. Este nido artificial es colocado junto a un



tubo de hierro a una altura de entre 4 a 5 metros con respecto al suelo, el cual está sujeto con cable de acero y tensoras para dar soporte al mismo.

Para cada nido, se colocan 2 cámaras trampa, una frontal y otra lateral a una altura de 4 metros y una distancia de 2.5 metros con respecto al nido artificial. Esto asegura una cobertura visual completa y mayor probabilidad de detección.

Después de instalar en total 30 cámaras, se realiza un constante monitoreo de los nidos artificiales, para documentar aspectos biológicos y reproductivos de la especie durante la época de reproducción. Las cámaras trampa son colectadas como mínimo una vez por mes durante la temporada de reproducción del quetzal, la cual va de marzo a julio.

Durante la recolección de datos también se brinda un mantenimiento general, desde la sustitución de cámaras, cambio de baterías y tarjetas SD, hasta el monitoreo continuo de las condiciones del nido artificial para asegurar su óptimo funcionamiento (Programa Investigación-RBBNM, 2024).

- **Pájaro Campana**

El monitoreo del Pájaro Campana se realiza a través de un conteo anual, el último sábado del mes de junio, iniciando a las 6am y finalizando a las 12md.

Este conteo dispone de 15 rutas, distribuidas en la parte alta del Corredor Biológico Pájaro Campana, en las comunidades de Monteverde, Santa Elena, Los Llanos, Cañitas, Cebadilla y la Cruz.

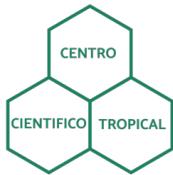
Las rutas se encuentran en terrenos privados y se han mantenido por más de 5 años. Para esto se solicitan previamente los permisos de los propietarios para la realización del conteo y el ingreso de los contadores inscritos.

Los datos son colectados en cada ruta, a través de ciencia ciudadana, con el apoyo de instituciones locales, estudiantes y voluntarios. En promedio se cuenta con una participación de 2-4 personas por rutas, para un promedio que oscila entre 30-50 personas.

Se registra cada individuo con los siguientes datos: dialecto Monteverde (MV), Talamanca (TL), Bilingüe (BL), edad y sexo de los individuos; macho, hembra, juvenil y el hábitat en que fue visto o escuchado.

3.4 Herpetofauna

Este monitoreo de la herpetofauna se lleva a cabo anualmente, durante seis meses en la temporada lluviosa, iniciando en mayo y finalizando en octubre. Generalmente, se realiza en las noches más oscuras, con menor iluminación lunar, para maximizar la



actividad nocturna de las especies. Este enfoque permite observar y registrar con mayor precisión la presencia y comportamiento de anfibios y reptiles durante sus períodos de mayor actividad.

El muestreo se realiza mediante una metodología de transectos en cuatro sitios distintos, con un muestreo diurno de 8:00 am a 12:00 pm, y otro nocturno de 5:00 pm a 9:00 pm, sumando un total de 8 horas de esfuerzo por transecto al mes. Los transectos tienen una distancia de 2,5 km, donde participan dos personas que se encargan de abarcar visualmente al menos un metro más allá del borde del sendero (transecto) y aproximadamente 10 metros para detectar las vocalizaciones, dependiendo la especie.

Los principales sitios de muestreo dentro de la reserva son: Chomogo-Pantanoso, Brillante y Valle. Las especies e individuos detectados son registradas a través de un formulario en la aplicación Kobo Collet. Así como el estado reproductivo en que se encuentran; huevos, renacuajos, juveniles y adultos (macho, hembra).

Posteriormente los datos registrados son descargados y almacenados en una base de datos en Microsoft Excel. Este mismo programa es utilizado para realizar análisis y gráficos para los diferentes informes y avances del proyecto. Además, se utiliza el programa “R”, para el cálculo y análisis estadísticos más detallados.

Para las especies catalogadas como Elementos Focales de Manejo, se estima el Índice de Abundancia Relativa (IAR), el cual expresa el número de registros (“capturas”) por especie por cada 100 días de muestreo (Programa Investigación-RBBNM, 2024)



4. Resultados del monitoreo en los EFM

A continuación, se presentan los resultados generados por el Programa de Investigación para cada proyecto de investigación relacionados con los EFC (Programa Investigación, 2024).

4.1 Ecosistema boscoso

Durante el período de mayo de 2021 a julio de 2023, se registraron 16 especies de mamíferos terrestres en el tratamiento perturbado (10 m). La curva de acumulación de especies en este tratamiento se estabilizó a mediados de 2023. En el tratamiento control (50 m), se identificaron 17 especies, y la curva de acumulación se ha mantenido estable desde inicios de 2022, lo que indica que la probabilidad de detectar nuevas especies es baja. La única diferencia en la riqueza de especies entre ambos tratamientos fue la presencia adicional de *Odocoileus virginianus* en el tratamiento control (Figura 1, Cuadro 1).

En cuanto a los patrones de actividad del saíno (*Dicotyles tajacu*), se observó un incremento en la presencia de esta especie durante los períodos de alta visitación, principalmente en el tratamiento control, en comparación con los otros tratamientos y niveles de visitación (Figura 2). Cuando la visitación fue baja, los picos de actividad ocurrieron alrededor de las 9 a.m. y 4 p.m. (Figura 2A). Sin embargo, durante la alta visitación, los picos de actividad se concentraron alrededor de las 7 a.m. y 5 p.m. en el tratamiento control, mientras que en el tratamiento perturbado el pico de la tarde se desplazó hacia las 6 p.m. (Figura 2B). Aun así, la frecuencia de actividad en el pico de la tarde fue mayor en el tratamiento control durante la alta visitación.

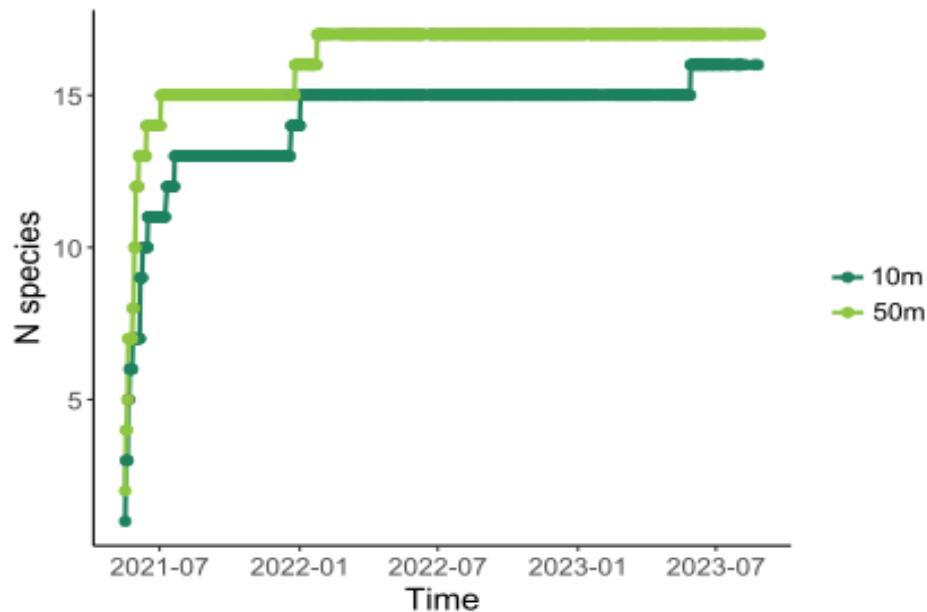


Figura 1. Curva de acumulación de especies en el tiempo. Comparación entre el tratamiento control, 50m (lima) y el tratamiento perturbado, 10m (verde).

Cuadro 1. Especies de mamíferos detectadas en la zona de uso público de la RBBNM, en tratamiento perturbado (10m) y tratamiento control (50m).

Family	Species	Local name	Trophic Guild	IUCN	# 10m detections	# 50m detections
Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i>	Tepezcuintle	G, F	LC	13	31
Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatusa	G, F	LC	576	828
Dasypodidae	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Armadillo	I	LC	107	135
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorro pelón	O	LC	65	48
Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo rayado	O	LC	13	31
Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	Tolomuco	O	LC	71	70
	<i>Mustela frenata</i>	Comadreja	C	LC	6	25
Felidae	<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelote	C	LC	19	24
	<i>Leopardus pardinoides</i>	Oncilla nebulosa	C	VU	17	23
	<i>Leopardus wiedii</i>	Caucel	C	NT	25	26
	<i>Puma concolor</i>	Puma	C	LC	18	15
Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	Pizote	O	LC	271	229
Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca	H	LC	0	4
	<i>Mazama temama</i>	Cabro de monte	H	LC	7	14
Tayassuidae	<i>Dicotyles tajacu</i>	Saíno	H	LC	266	425
Myrmecophagidae	<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguero	I	LC	0	1
Tapiridae	<i>Tapirus bardii</i>	Danta	H	LC	1	5

C = carnivorous, G = granivorous, F = frugivorous, I = insectivorous, O = omnivorous, H = herbivore. In addition, its conservation status according to IUCN with acronym in English, LC = Least concern, NT = Near threatened, VU=vulnerable.

El patrón de actividad de la guatusa (*Dasyprocta punctata*) también mostró un aumento en su presencia durante los períodos de alta visitación en el tratamiento perturbado, especialmente en horas de la mañana (Figura 3). Durante los períodos de baja visitación, ambos tratamientos presentaron patrones de actividad muy similares, con picos en la mañana y una leve disminución hacia la tarde (Figura 3A). En el tratamiento perturbado, el cambio en el patrón de actividad durante la alta visitación se manifestó con picos más marcados en la mañana y la tarde, coincidiendo con horas de menor afluencia de visitantes. En el tratamiento control, se observó un leve aumento en la frecuencia desde la mañana hacia la tarde, pero de forma más gradual (Figura 3B).

Por último, los cambios en la frecuencia de actividad del pizote (*Nasua narica*) fueron más evidentes entre los períodos de alta y baja visitación, observándose mayor frecuencia en alta visitación (Figura 4). Durante la baja visitación, los patrones fueron similares entre ambos tratamientos, con un leve pico de actividad al mediodía (Figura 4A). Sin embargo, en alta visitación, los patrones variaron entre tratamientos: en el tratamiento control, el patrón de actividad se mantuvo similar al de baja visitación,

mientras que en el tratamiento perturbado se observó un aumento leve en la frecuencia en horas de la tarde (Figura 4B).

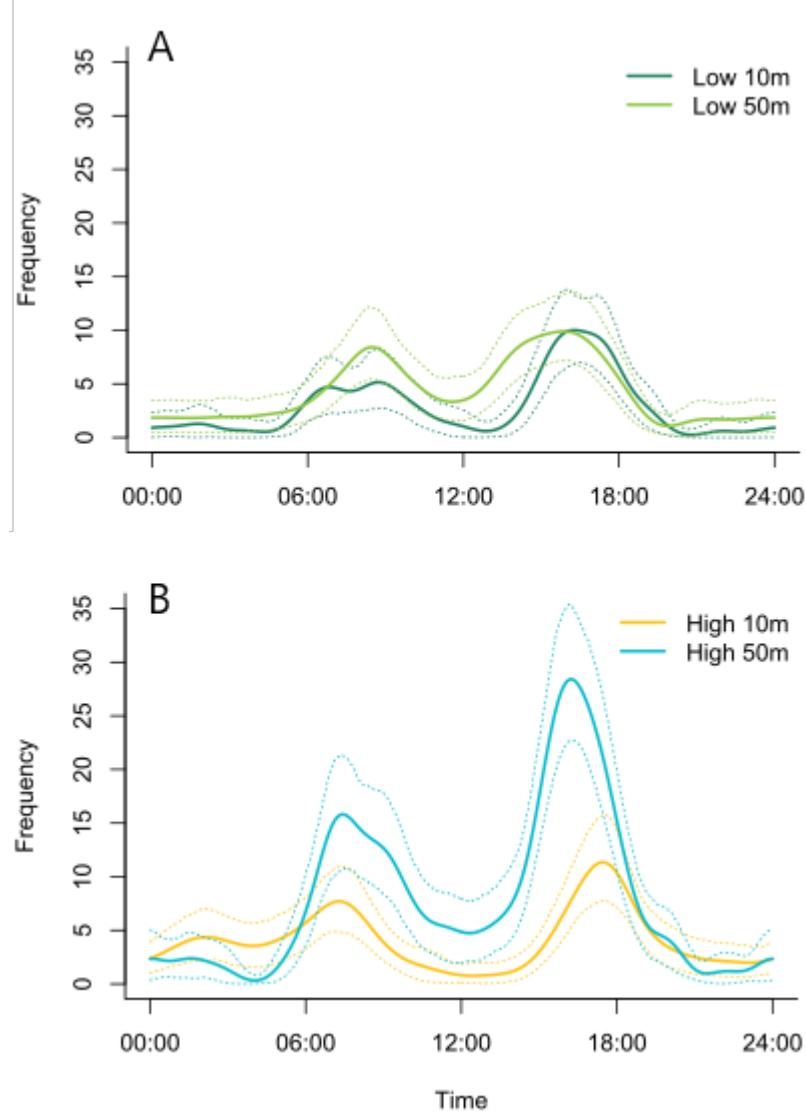


Figura 2. Frecuencia del patrón de actividad del saíno (*Dicotyles tajacu*), comparando A) los tratamientos, perturbado (verde) y control (lima) con visitación baja y B) los tratamientos, perturbado (amarillo) y control (celeste) con visitación alta.

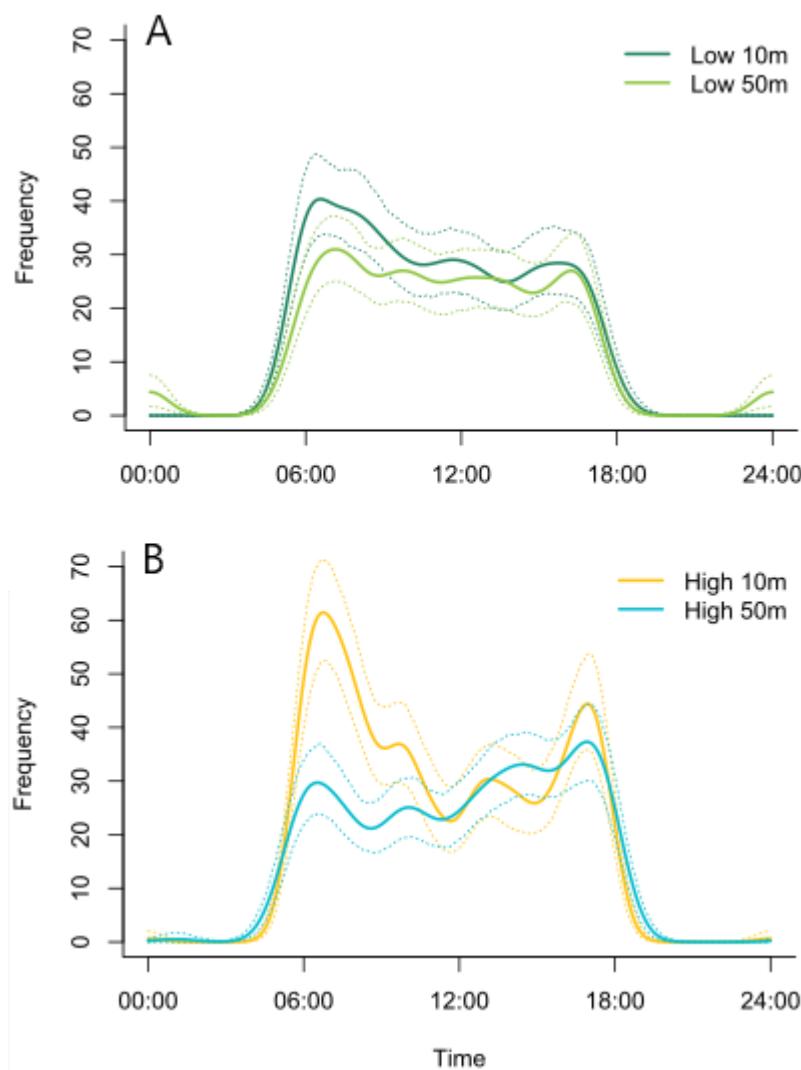


Figura 3. Frecuencia del patrón de actividad de la guatusa (*Dasyprocta punctata*), comparando A) los tratamientos, perturbado (verde) y control (lima) con visitación baja y B) los tratamientos, perturbado (amarillo) y control (celeste) con visitación alta.

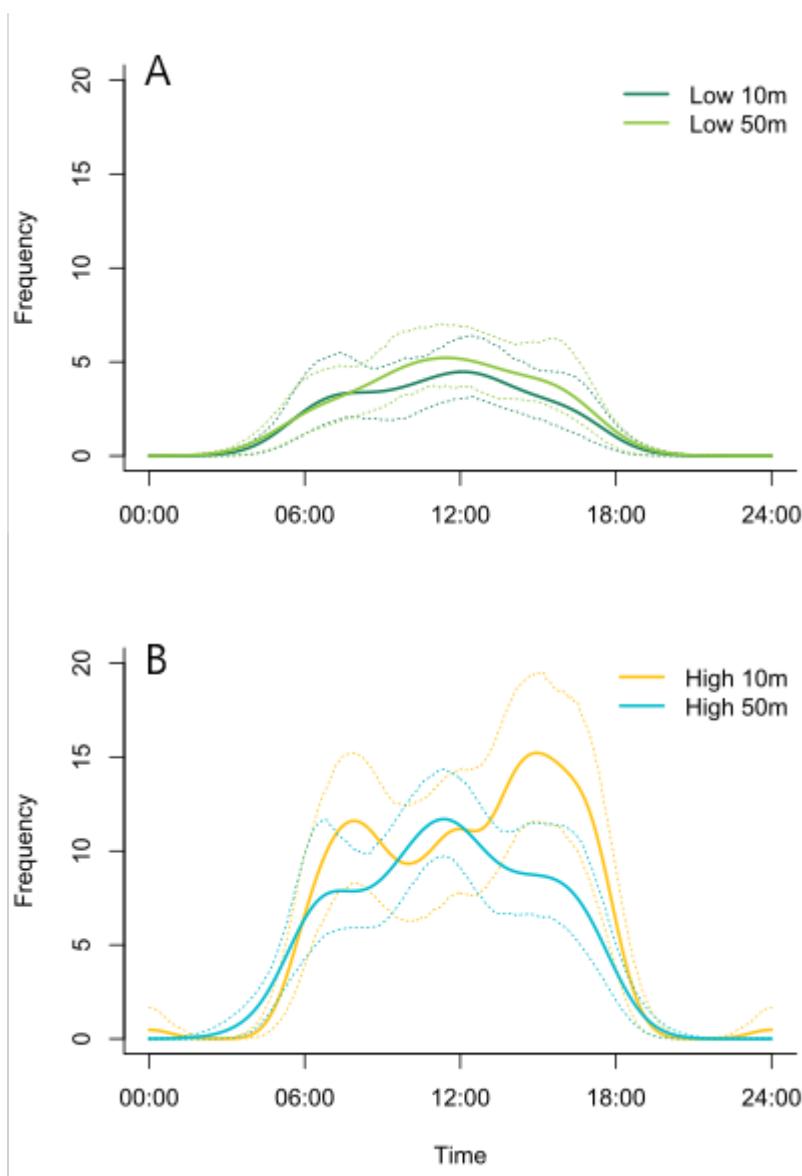


Figura 4. Frecuencia del patrón de actividad de la guatusa (*Nasua narica*), comparando A) los tratamientos, perturbado (verde) y control (lima) con visitación baja y B) los tratamientos, perturbado (amarillo) y control (celeste) con visitación alta.

El proyecto de Parcelas Permanentes de Monitoreo generó un listado de 301 especies distribuidas en 69 familias, registradas en lo largo de los monitoreos. Para el primer trimestre del 2024 se estará elaborando el informe correspondiente sobre el estado de las PPM, composición y estructura del bosque.

4.2 Sistema Hídrico

Resultados del Programa de ciencia ciudadana Adopte una quebrada (Moreno, 2023).

En el año 2022 se realizaron un total de 23 monitoreos de calidad de agua con el programa Adopte una quebrada en siete sitios de muestreo de la zona de Monteverde

incluyendo la Quebrada Cuecha en RBBNM. Se encontraron un total de 40 familias de macroinvertebrados de 15 órdenes diferentes (Cuadro 2). En promedio se encontraron entre 9 y 31 familias por sitio (Cuadro 2), siendo los más comunes los odonatos de las familias Calopterygidae, Coenagrionidae y Libellulidae, los tricópteros de las familias Hydropsychidae, Hydrobiosidae y Calamoceratidae, los efemeropteros de las familias Baetidae, Leptohyphidae y Leptophlebiidae, los dípteros de las familias Simuliida, Tipulidae y Chironomidae, los Hemípteros de la familia Vellidae, los anélidos Tubificidae y las planarias (Cuadro 2).

Para la Quebrada Cuecha en la RBBNM se encontraron en tres años de monitoreo 35 familias, 17 familias en el 2020, 28 en el 2021 y 31 en el 2022. La mayoría de las familias de buena y regular calidad del agua, donde únicamente dos familias son consideradas de mala calidad (Cuadro 2). En el resumen del monitoreo de quebradas desde el 2018 al 2022, se observa que las quebradas: Cuecha en la RBBNM, Quetzal en la RSE, Río Negro y La Máquina (con excepción del 2019) tiene una proporción alta de familias indicadoras de buena calidad durante todos los años (Figura 5). Además, en el año 2021 y 2022 ocurre un aumento considerable de familias indicadoras en la Quebrada Cuecha de la RBBNM, siendo el sitio con mayor cantidad de familias reportadas en comparación con los otros sitios (Figura 5).

En las quebradas Sucia en Casa de Arte y Colegio la proporción de familias de buena calidad era normalmente baja mostrando un aumento en la cantidad de estas familias en el año 2021 y luego un descenso en el año 2022. La quebrada Cuecha en el punto de muestreo del puente cerca de la Fábrica de quesos muestra variaciones en esta proporción a lo largo de todos los años. Igualmente, la proporción de familias indicadoras de mala calidad es grande en las quebradas Sucia y Colegio, seguida de la quebrada Cuecha en la Fábrica y Río Negro, mientras que en las otras quebradas la proporción de familias indicadoras de mala calidad es baja (Figura 5).

En todos los sitios de monitoreo se observa una mejoría en la calidad del agua en los años 2020 y 2021, pero en el año 2022 se observa una disminución del índice de calidad de agua de las quebradas Colegio y Sucia (en Casa de Arte) y no en las otras quebradas (Figura 6). Observar que en la Quebrada Cuecha en la RBBNM el índice aumenta de un 60 en el 2018 y 54 en el 2019 que indica calidad regular y mala respectivamente, a un crecimiento exponencial, donde en el 2022 presenta un índice de 98.3, indicando una mejoría en la calidad del agua (Figura 6).



Cuadro 2. Lista de familias de Macroinvertebrados por orden/grupo taxonómico por sitio de monitoreo de quebradas del programa Adopte una quebrada del 2020 al 2022. La n indica el número de monitoreos por año. Los colores se basan en los puntajes asignados en el índice BMWP-CR. Puntajes de 9-7: familias intolerantes, indicadoras de buena calidad de agua (color azul); puntaje de 6-4: familias con cierta tolerancia, indicadoras de regular calidad de agua (color verde) y puntajes de 3-1: familias muy tolerantes, indicadoras de mala calidad de agua (color rojo).

	Sitio	Q. Cuecha RBBNM				Q. Cuecha Puente				Q. Sucia C. Arte				Q. Colegio				Río Negro				Q. Máquina			
		2020 n=2	2021 n=6	2022 n=6	2020 n=3	2021 n=4	2022 n=2	2020 n=2	2021 n=3	2022 n=1	2020 n=3	2021 n=3	2022 n=3	2020 n=2	2021 n=3	2022 n=4	2020 n=2	2021 n=3	2022 n=4	2020 n=2	2021 n=3	2022 n=1			
Año		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022			
Orden/grupo taxonómico	Familia																								
Annelida	Oligochaeta (1)							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
	Oligochaeta (Tubifex) (1)	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X			
Blattodea	Blaberidae (8)				X	X	X													X	X				
Coleoptera	Dytiscidae (4)	X						X																	
	Elmidae (5)	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X	X		
	Hydrophilidae (3)							X											X						
	Lutrochidae (7)	X																		X					
	Noteridae (4)																				X				
	Psephenidae (7)							X												X					
	Ptilodactylidae (7)	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X	X		
Crustacea/Amphipoda	Hyalleliidae (5) pulgas de agua				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Crustacea	Pseudothelphusidae (5)				X	X					X	X	X	X				X	X	X	X	X	X		
Diptera	Chironomidae (2)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Psychodidae (3)										X														
	Simuliidae (4)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Tipulidae (4)		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Ephemeroptera	Baetidae (5)	X	X	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X	X	X	X		
	Leptophyphidae (5)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Leptophlebiidae (8)	X	X	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X	X	X	X		
	Heptageniidae (9)							X												X					
Hemiptera	Belostomatidae (4)							X			X		X		X	X									
	Gerridae						X	X									X			X					
	Naucoridae (4)	X	X																X	X					
	Vellidae				X				X	X	X	X	X	X	X	X	X				X				
Hidracarina	Hidracarina (4) ácaros de agua						X		X																
Lepidoptera	Pyralidae (5)		X						X											X					
Megaloptera	Corydalidae (6)									X															
Mollusca	Hydrobiidae (3)																X	X							
	Physidae (3)																X	X							
	Sphaeriidae (3)																X	X							
Odonata	Calopterygidae (4)	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Coenagrionidae (4)	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Libellulidae (6)	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Megapodagrionidae (7)		X																						
Plecoptera	Platystictidae (7)									X															
	Polythoridae (9)																								
Trichoptera	Perlidae (9)	X	X	X	X	X													X	X		X	X		
	Calamoceratidae (8)		X	X	X	X												X	X	X	X	X			
	Hydrobiosidae (9)	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X		X	X	X	X	X	X			
	Hydropsychidae (5)	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X			
	Helicopsychidae (5)																								
	Lepidostomatidae (9)	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X		X								
	Leptoceridae (8)	X	X	X	X	X										X					X				
	Philopotamidae (7)	X	X	X	X	X					X								X	X					
	Polycentropodidae (6)		X	X																					
	Xiphocentronidae (6)																				X				
Tricladida	Turbellaria (planarias) (5)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Total familias		47	17	28	31	23	21	27	16	23	9	12	21	14	19	22	24	16	18	10					

Total de familias indicadoras de buena, regular y mala calidad de agua por año por sitio de monitoreo

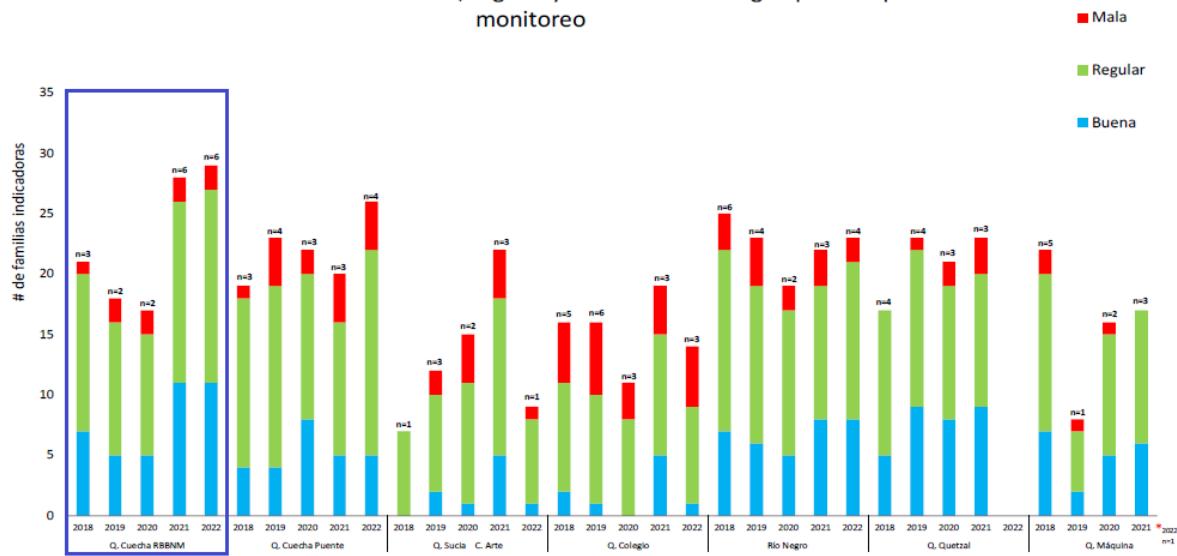


Figura 5. Total de familias de macroinvertebrados indicadoras de calidad de agua según el índice BMWP-CR, en sitios de monitoreo en Monteverde del 2018 al 2022. En celeste las familias indicadoras de buena calidad de agua con puntajes entre 9-7, en verde familias indicadoras de regular calidad de agua con puntajes de 6-4 y en rojo familias indicadoras de mala calidad de agua con puntajes de 3-1. La n indica el número de monitoreos por año. En cuadro resaltado en azul el resultado para la Quebrada Cuecha en la RBBNM.

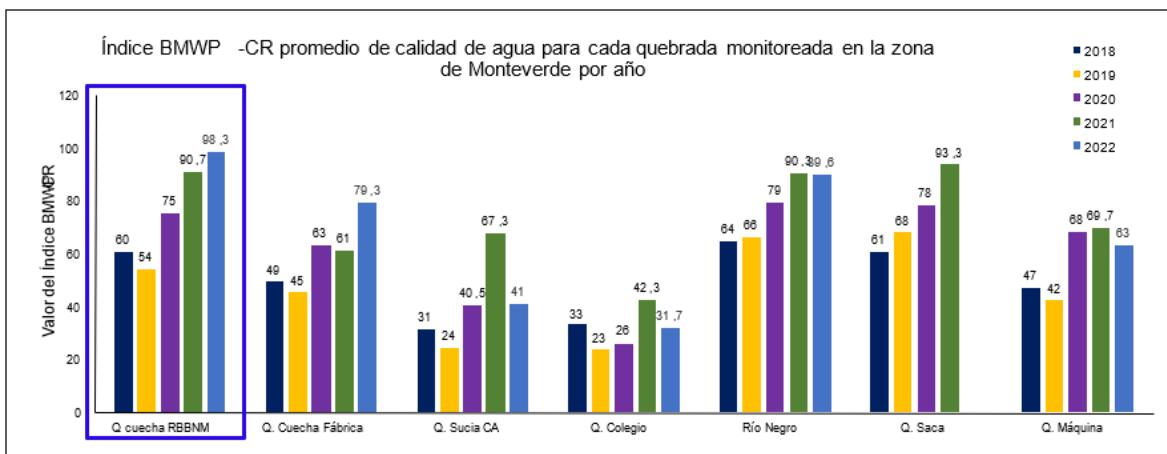


Figura 6. Comparación de calidad de agua de las quebradas de la zona de Monteverde desde el año 2018 hasta el 2022, usando el promedio del Índice BMWP-CR (número sobre las barras). En cuadro azul los resultados de la Quebrada Cuecha de la RBBNM.

4.3 Aves migratorias

- **Quetzal**

A través del monitoreo del quetzal se registraron entre 0 y 22 quetzales por réplica de muestreo durante la duración del estudio. El modelado estadístico de estos datos produjo estimaciones anuales de la abundancia de quetzales que, en promedio, son más de nueve veces superiores a los conteos máximos, con un rango entre 76 ± 36 (2016, Modelo TT) y 203 ± 124 (2021, Modelo TT; Figura 7 y Cuadro 3). Presentamos las estimaciones de los parámetros como la media \pm una desviación estándar de la distribución de probabilidad posterior del parámetro.

Las evaluaciones de ajuste no son cualitativamente diferentes entre los modelos RY y TT. Para ambos, las verificaciones predictivas posteriores (ppc) revelaron una mayor discrepancia entre las predicciones y los datos reales que entre las predicciones y los datos simulados (valores c-hat en el Cuadro 3). Lo contrario fue cierto para menos del 2% de las verificaciones, al agregar resultados a lo largo de los años, como lo muestran los valores p bayesianos totales (bpv) de menos de 0.01 en el Cuadro 3. Sin embargo, al dividir los resultados de ppc anualmente, encontramos un ajuste considerablemente mejor para siete de los 10 años de estudio en ambos modelos (es decir, bpv mayor o igual a 0.1). Dado que las estimaciones de abundancia para aquellos años con un ajuste consistentemente pobre (2019, 2023, 2024) no fueron sustancialmente diferentes de las estimaciones para otros años, consideramos que los resultados son suficientemente útiles para informar.

Los dos modelos produjeron estimaciones de abundancia en el mismo orden de magnitud y ambos siguen un patrón similar, sin mostrar una tendencia clara a lo largo de los años (Figura 7), la distribución posterior del efecto del tiempo sobre la abundancia en el modelo TT incluye cero ($\hat{\beta}_1 = 0.08 \pm 0.08$; intervalo creíble del 95% de $[-0.09, 0.23]$). El Modelo RY, que permite la variación temporal en la abundancia sin una tendencia temporal incorporada, estima la abundancia mínima (93 ± 43 , en el 2016) y la máxima (190 ± 88 , en el 2021).

La función cuadrática del día juliano sobre la probabilidad de detección (p) reveló que p es máxima hacia la mitad y mínima hacia los extremos del período de observación de cada año. Al observar a través de los años el intervalo creíble del 95% del efecto cuadrático del tiempo sobre p (α_2), encontramos que todo el intervalo es negativo en seis de los ocho años de estudio para ambos modelos. Las estimaciones de p máxima fueron ligeramente más bajas para el Modelo TT que para el Modelo RY, donde variaron desde aproximadamente 0.05 en abril de 2020 (modelo TT) hasta 0.32 en marzo de 2016 (modelo RY). La detección máxima se estimó para el mes de abril en todos los años (en el modelo TT) y para el mes de marzo en todos los años (en el modelo RY) (Figura 8).



Cuadro 3. Estimaciones de abundancia (\hat{N}), y estadísticas de verificación predictiva posterior (c-hat y bpv, o valor p bayesiano) para cada año y para los dos modelos (TT y RY) en nuestro estudio. La última columna del cuadro presenta los resultados generales (Total) de la verificación predictiva posterior para el agregado de todos los años.

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Model TT	\hat{N}	118	76	133	136	153	154	203	130	185	189
	c-hat	1.12	1.11	1.22	1.18	1.25	1.03	1.10	1.10	1.35	1.28
	bpv	0.29	0.24	0.11	0.21	0.05	0.49	0.26	0.35	0.02	0.002
Model RY	\hat{N}	153	93	162	149	161	156	190	109	169	170
	c-hat	1.12	1.10	1.24	1.18	1.25	1.03	1.10	1.09	1.35	1.28
	bpv	0.30	0.26	0.10	0.20	0.05	0.49	0.27	0.38	0.02	0.03

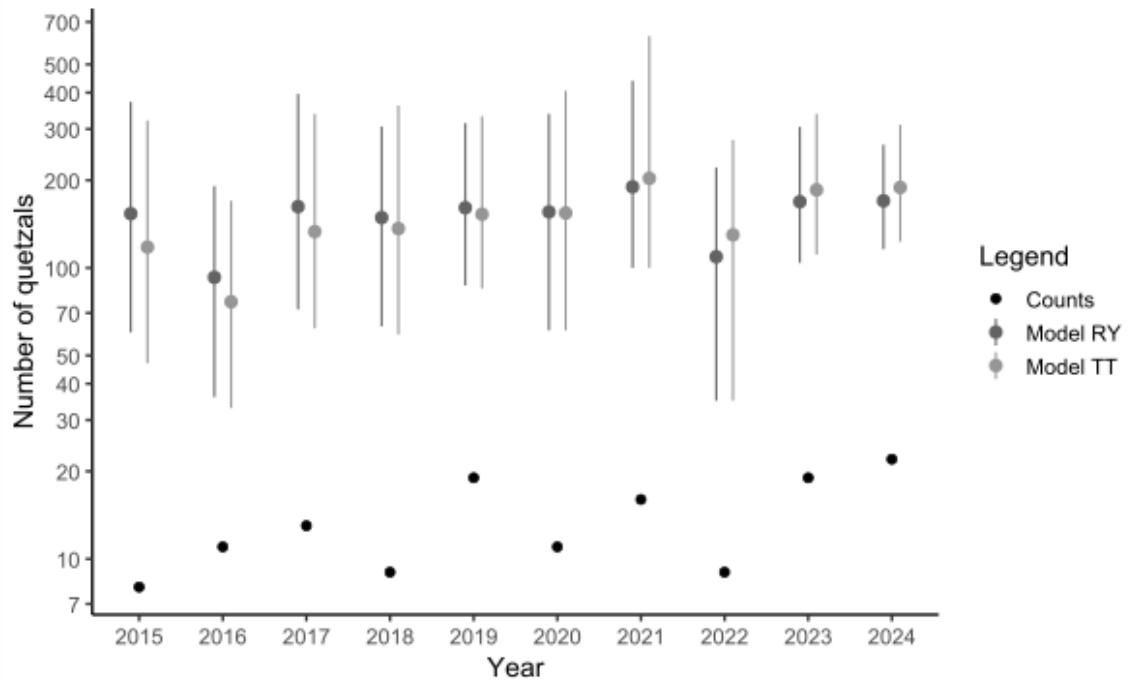


Figura 7. Conteos máximos por réplica por año (puntos negros) y abundancia estimada de quetzales en la Reserva del Bosque Nuboso de Monteverde según los Modelos RY (gris oscuro) y TT (gris claro) descritos en el texto. Las líneas verticales muestran los intervalos creíbles al 95% de la abundancia estimada.

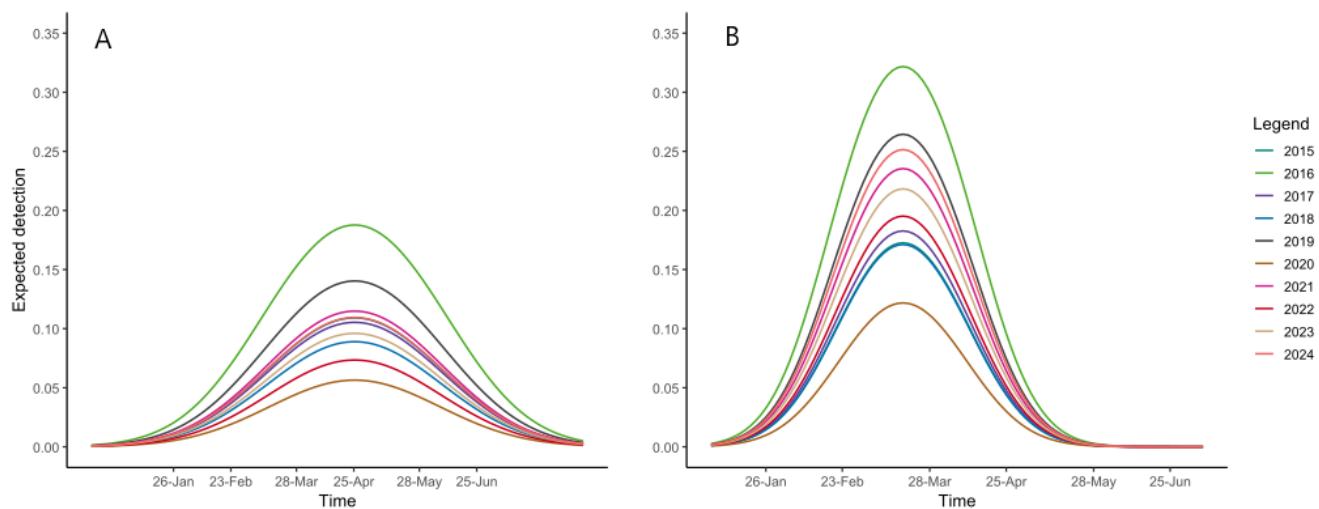


Figura 8. Probabilidad de detección variable en el tiempo según los efectos anuales y un efecto cuadrático del tiempo dentro del año, de acuerdo con los Modelos TT (A) y RY (B). Cada color representa la probabilidad de detección esperada por día para el año correspondiente.

- **Ojos sobre el quetzal (nidos quetzal)**

A través de los nidos artificiales para quetzal, se registró la actividad reproductiva de los quetzales desde el 2017 al 2024, con un promedio de 15 nidos instalados por temporada, los cuales han generado la siguiente información.

Cantidad de videos procesados: desde el inicio de la primera temporada en el año 2017 hasta la fecha, se han obtenido un total de 55,805 videos. La cantidad de videos registrados anualmente se muestran en la figura 9, donde se observa una tendencia de crecimiento hasta el 2022, exceptuando el año 2021. En el 2022 se evidencia un registro de más de 24 mil videos durante la temporada, un evento poco inusual con respecto a los otros años. Esto posiblemente se debe a la implementación de nuevo equipo tecnológico, con mayor calidad y sensibilidad al movimiento.

Ánalisis de patrones de anidamiento: a través de las cámaras trampa, se han documentado comportamientos claves del quetzal, permitiendo graficar las diferentes etapas del ciclo reproductivo, desde la inspección del nido, incubación, alimentación de las crías, hasta culminar con el abandono del nido y la salida de los pichones

La figura 10 muestra que durante los primeros 9 días se lleva a cabo la inspección y limpieza del nido. El periodo de incubación dura aproximadamente tres semanas hasta que nace el pichón. Posterior a esto, se presenta un aumento significativo en las visitas

de los padres para la entrega de alimento, prolongándose esta fase alrededor de 2 semanas. Al finalizar esta fase, los pichones de quetzal abandonan el nido.



Figura 9. Cantidad total de videos por año durante cada temporada del quetzal

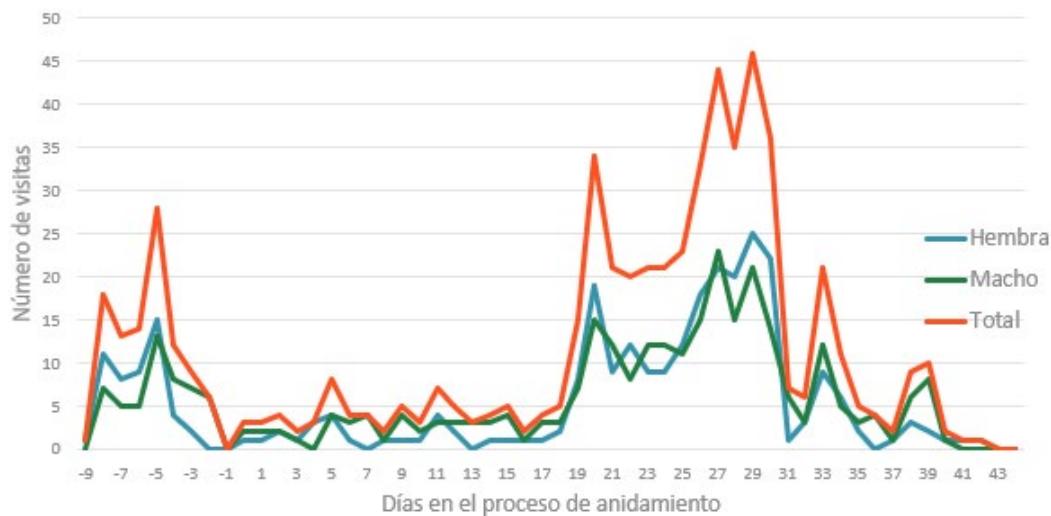


Figura 10. Línea del tiempo durante el proceso de anidación del quetzal

Dieta del pichón: para comprender la ecología del quetzal se analizan los videos de entrega de alimento total, clasificando el tipo de alimento y registrando cuál de los dos padres los provee, tal como se refleja en la figura 11.

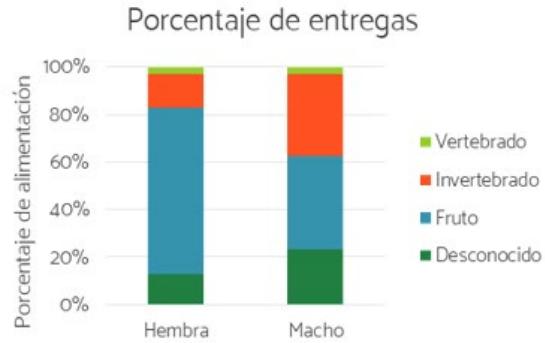
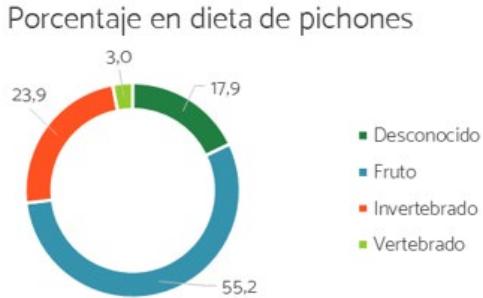


Figura 11. Porcentaje de entrega de alimento por parte de los padres (nido artificial en la época reproductiva 2017)

En la figura 11, se refleja el tipo de alimentación que reciben los pichones. Los frutos de aguacatillo (*Ocotea sp.*) conforman la dieta base de alimentación del pichón con más del 55% del total de entregas y en menor cantidad se encuentran los vertebrados con un 3%. Por otra parte, se logra evidenciar que la hembra en esta ocasión brindó mayor porcentaje de entrega de frutos al pichón que el macho, ya que este último brindo mayormente invertebrados a la cría.

Especies competidoras, depredadoras y ocasionales: Durante las 8 temporadas de anidamiento de quetzal, se han registrado un total de 42 especies en los nidos artificiales, los cuales se encuentran distribuidos en diferentes grupos, de los cuales 26 corresponden a aves, 12 mamíferos y 4 insectos (Figura 12). Estos resultados reflejan la diversidad de fauna que visita los nidos artificiales del quetzal, ya sea en busca de alimento o como hábitat para reproducirse.

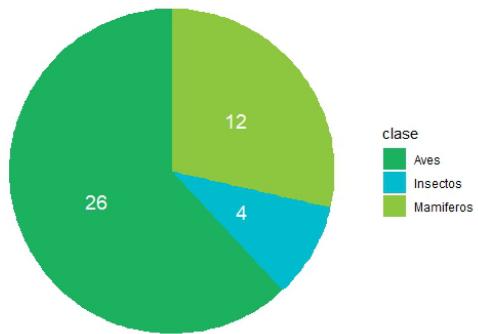


Figura 12. Especies de fauna registrada en los nidos artificiales de quetzal.

En la figura 13, se observa que las especies competidoras y las depredadoras presentan proporciones iguales en los nidos artificiales. Un caso interesante es el del *Aulacorhynchus prasinus* (Tucán esmeralda), una especie potencialmente depredadora que, sin embargo, utilizó un nido para anidar durante la temporada 2024, desempeñándose como competidor. Otro ejemplo de competidor-depredador es el de *Micoureus alstoni* (Marmosa lanuda), que utilizó un nido artificial durante la temporada 2023. Entre los depredadores de pichones del quetzal, se destacan notablemente las especies voladoras; *Vampyrum spectrum* (Murciélagos espectral) y *Strix virgata* (Búho moteado), esto posiblemente por la base metálica en la que se encuentran instalados los nidos, lo que restringe la mayoría de las visitas de especies depredadoras o competidoras terrestres.

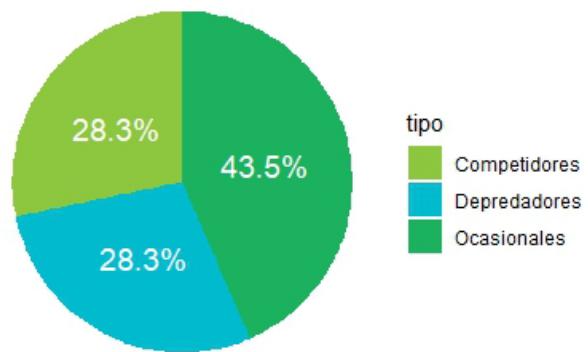


Figura 13. Porcentaje y clasificación de la fauna registrada en nidos artificiales

Uso de nidos en las ocho temporadas: en los cuadros 4 y 5 se muestran los eventos claves observados en los nidos artificiales y naturales respectivamente; solo visitación, incubación, salida de pichón, depredación y segunda nidada. Estos eventos han sido registrados desde el 2017 hasta el presente año 2024, proporcionando un panorama completo sobre el comportamiento y éxito reproductivo de la especie.

Cuadro 4. Actividad del quetzal en los nidos artificiales durante las 8 temporadas

Temporada	Nidos Artificiales				
	Solo Visita	Incubación	Salida de Pichón	Depredación	2da nidada
2017(15 nidos)	9	4	4	0	0
2018(15 nidos)	7	6	6	Fallo en los equipos de grabación	
2019(15 nidos)	8	4	2	2	0
2020(15 nidos)	15	4	1	3	0
2021(14 nidos)	11	7	3	3	1
2022 (14 nidos)	14	7	3	4	2
2023(15 nidos)	11	7	0	7	0

2024(15 nidos)	12	6	1	5	0
Total	87	45	20	24	3

Los resultados muestran que de los 14 o 15 nidos artificiales disponibles por temporada, un promedio de 10.8 nidos son utilizados para alguna actividad. Esto ha resultado en un total de 87 veces usados durante el total de las 8 temporadas estudiadas. Es destacable que estos nidos han permitido la reproducción y posterior salida de 20 pichones. Sin embargo, es importante señalar que 24 de los 45 eventos de incubación en nidos artificiales han sido afectados por depredación o competidores por parte de otras especies.

Cuadro 5. Actividad del quetzal en los nidos naturales las 8 temporadas

Nidos Naturales					
Temporada	Solo Visita	Incubación	Salida de Pichón	Depredación	2da nidada
2017	1	1	2	0	0
2018	0	0	0	0	0
2019	6	4	0	3	0
2020	3	3	3	0	0
2021	3	3	1	2	0
2022	3	3	1	2	0
2023	3	3	0	2	0
2024	3	3	1	2	1
Total	22	20	8	11	1

El registro de los nidos naturales, son un complemento a los nidos artificiales, a partir de los reportes que realizan los guías o compañeros de protección, en el cual el estudio ha registrado un total de 22 nidos a lo largo de los 8 años de investigación. De estos nidos, se ha documentado que 8 pichones han logrado salir con éxito, de un total de 20 eventos de incubación. Es importante destacar que, de estos 20 casos, 11 han sido depredados, ya sea por influencia de las perturbaciones humanas o por factores desconocidos en donde los quetzales optan por abandonar el nido.

- **Pájaro Campana**

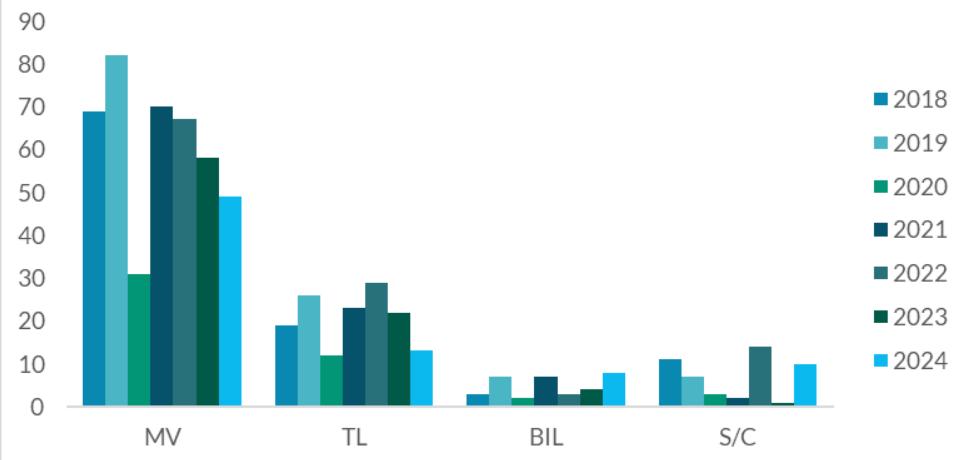
Durante los siete años del conteo anual en la zona de Monteverde se han registrado los individuos del Pájaro Campana según su edad, sexo y dialecto.

Es importante considerar que en el año 2020 se registró una disminución significativa en los datos, esto principalmente por las restricciones para visitar terrenos privados (Reservas, Centros de Aventura, entre otros) para realizar el Conteo, producto de las medidas para evitar la propagación del Covid19 a raíz de la pandemia global. En este año el conteo se realizó a partir de registros cercanos a casas de habitación.



Se

Dialecto
Conteo Anual Pájaro Campana
2018-2024



clasificaron los individuos según su sexo y edad, el cual sugiere que se ha mantenido en proporciones similares a través de los años, con excepción de la cantidad de machos registrados para el 2024 (Figura 14).

Sexo y Edad Individuos
Conteo Anual Pájaro Campana
2018-2024

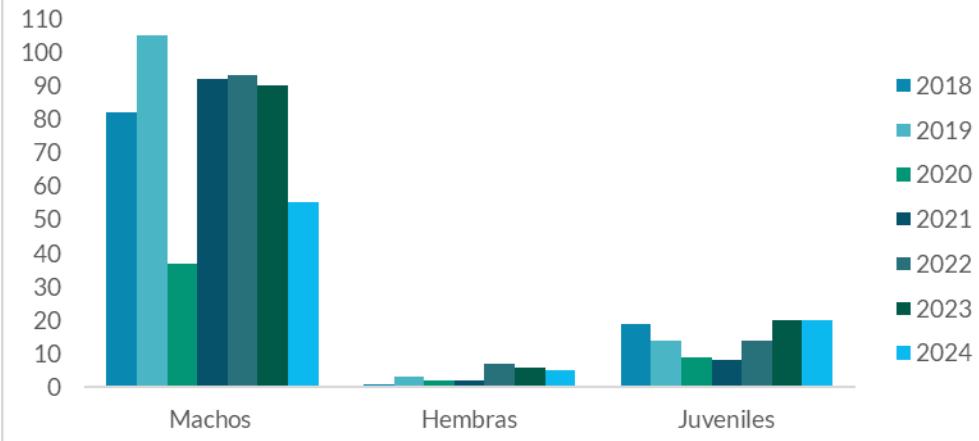


Figura 14. Registro del sexo y edad de los individuos en cada conteo anual

Con respecto al dialecto emitido por los individuos se mantiene en mayor proporción las vocalizaciones del dialecto Monteverde, seguido del Talamanca y con menor registro el bilingüe y los que no vocalizaron (Figura 15).

Figura 15. Registro del dialecto emitido por cada individuo en cada conteo anual

Integrando las variables de individuos totales por conteo y rutas cubiertas, se visualiza que entre más rutas muestreadas mayor es cantidad de individuos registrados. Así mismo, se cuenta con un promedio de 100 individuos para la población del pájaro campana en Monteverde (Figura 16).

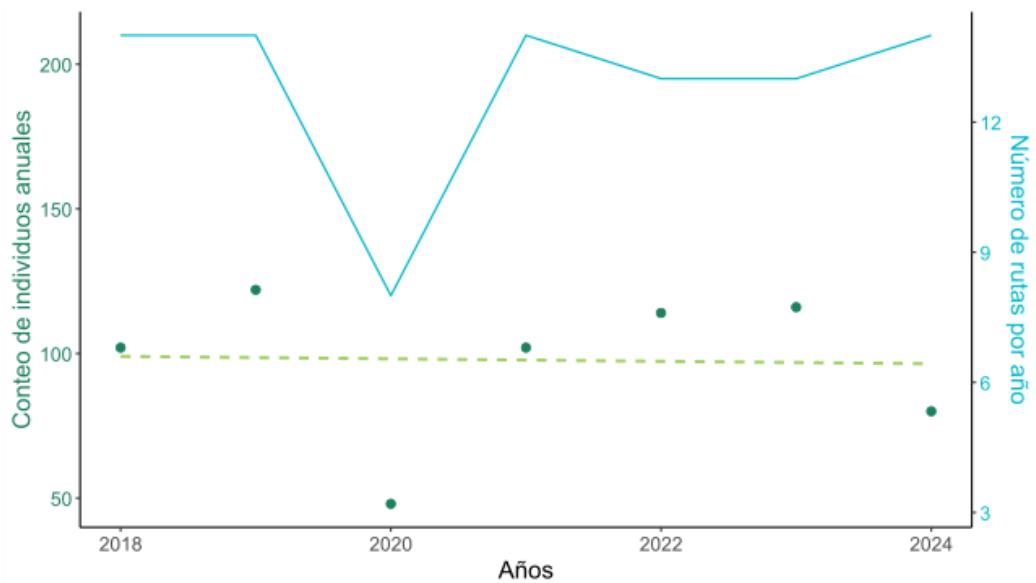


Figura 16. Promedio de individuos por conteo anual.

4.4 Herpetofauna

Se realizó un análisis para obtener el IAR, para las especies: *Isthmohyla angustilineata* (Rana arbórea de líneas estrechas) en peligro crítico de extinción e *Isthmohyla*

rivularis (Rana arborícola de arroyos) en peligro de extinción, para el grupo de los anfibios, y *Anolis leditzigorum* (Anolis de bosque nuboso) en preocupación menor, para el grupo de los reptiles.

- *Isthmohyla angustilineata*

La figura 17 muestra la abundancia relativa de *I. angustilineata* a lo largo de los años, destacando las variaciones en su presencia. Se observan picos de abundancia en 2015 y 2020, lo que sugiere que estos años presentaron condiciones favorables para la especie. Sin embargo, en la mayoría de los otros años, la abundancia es baja o inexistente. Esto podría indicar que la especie tiene una presencia fluctuante en el área monitoreada, probablemente influenciada por factores ambientales o climáticos ocasionando cambios en el hábitat, períodos específicos de mayor actividad o reproducción o inclusive sesgo humano en la detección de la especie.



Figura 17. Índice de abundancia relativa para la especie *Isthmohyla angustilineata*.

La especie *I. angustilineata* ha sido una de las especies con menos registros a lo largo del monitoreo. Presentando un IAR muy bajo, esta especie estuvo muchos años sin que se detectara y no fue hasta el año 2013 en que se registró. A partir de ese momento, año con año se ha muestreado en el mismo sitio con rigurosidad, pero a pesar de estos existen años en donde no se ha registrado.

- *Isthmohyla rivularis*

En la figura 18, se puede observar que no existe una tendencia clara a lo largo de los años para *I. rivularis*, presentando incluso algunos picos muy altos de abundancia relativa para algunos años, pero en otros con una abundancia muy baja e incluso cero. Estos picos de abundancia corresponden a años donde los registros fueron principalmente audibles. Los datos sugieren fluctuaciones significativas en la presencia de esta especie a lo largo del tiempo, lo que podría estar relacionado con cambios ambientales o climáticos que afectan el hábitat o sesgo humano para la detección de la especie.

Cabe recalcar que para cada uno de los gráficos de abundancia relativa de estas especies se necesitan realizar correlaciones más detallados con los datos

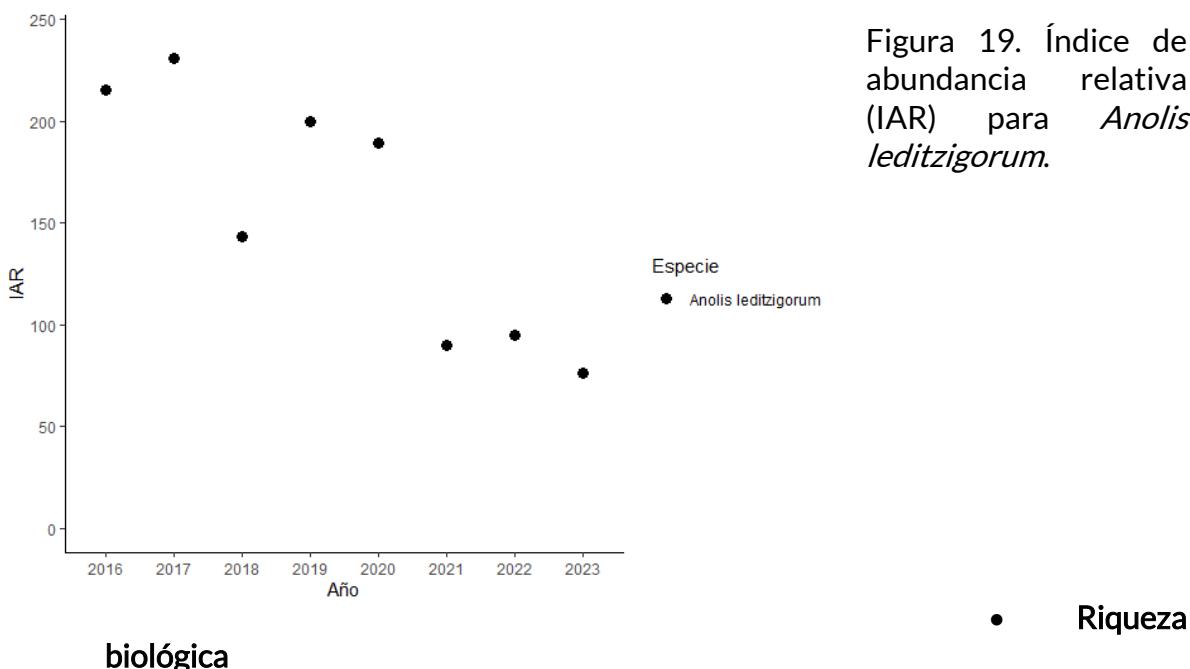
meteorológicos, para comprender si los cambios extremos en el clima del bosque nuboso están incidiendo directa o indirectamente sobre las poblaciones de la herpetofauna.



Figura 18. Índice de abundancia relativa para la especie *Isthmohyla rivularis*.

- *Anolis leditzigorum*

Se realizó un análisis de *Anolis leditzigorum*, la especie más comúnmente detectada en la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde. En este caso podemos observar unos valores del IAR muy altos, lo cual es buen indicador ya que por cada 100 horas de muestreo se han obtenido registros de más de 100 individuos. Sin embargo, a pesar de ello, se observa una clara disminución a lo largo de los años, comenzando con valores superiores a 200 en 2016 y descendiendo de manera constante hasta situarse cerca de 100 en 2023. Esta tendencia a la baja podría indicar una disminución en la población de esta especie en el área monitoreada, sugiriendo cambios en el área potencial de distribución por efectos ambientales que impactan en su abundancia (Figura 19).



La riqueza biológica, o riqueza de especies, se refiere al número total de especies distintas presentes en un ecosistema o área específica. Es un indicador clave de la biodiversidad, ya que refleja la variedad de organismos vivos en un lugar determinado. Un ecosistema con alta riqueza biológica tiende a ser más estable y resiliente, ya que la diversidad de especies mejora las funciones ecológicas y la capacidad del sistema para adaptarse a cambios ambientales, contribuyendo a su sostenibilidad y equilibrio.

En los últimos años, se ha contado con nuevos registros de especies después de decline. Algunas de estas especies ya eran conocidas en la zona, pero aún no habían sido detectadas en los monitoreos. Actualmente, el registro total incluye 44 especies de anfibios y 56 especies de reptiles, distribuidas en los distintos sitios de monitoreo (RBBNM y RBSL).

La figura 20 muestra la distribución de especies de anfibios para los sitios de monitoreo. El sitio Eladios se destaca por tener el mayor número de especies, con casi 30. En contraste, San Luis y Brillante presentan las cifras más bajas, con menos de 15 especies cada uno. Esto podría indicar diferencias en las condiciones ambientales o microhábitats que favorecen mayor o menor diversidad de anfibios. Una posible causa podría a la baja riqueza de especies para Brillante y San Luis puede ser que ambos sitios generalmente presentan una alta radiación solar lo cual puede ser perjudicial para el desarrollo de los anfibios, además de que San Luis es el sitio que presenta más días secos y temperaturas más altas. Sin embargo, se requiere de mayor análisis climáticos para conocer su influencia sobre las especies

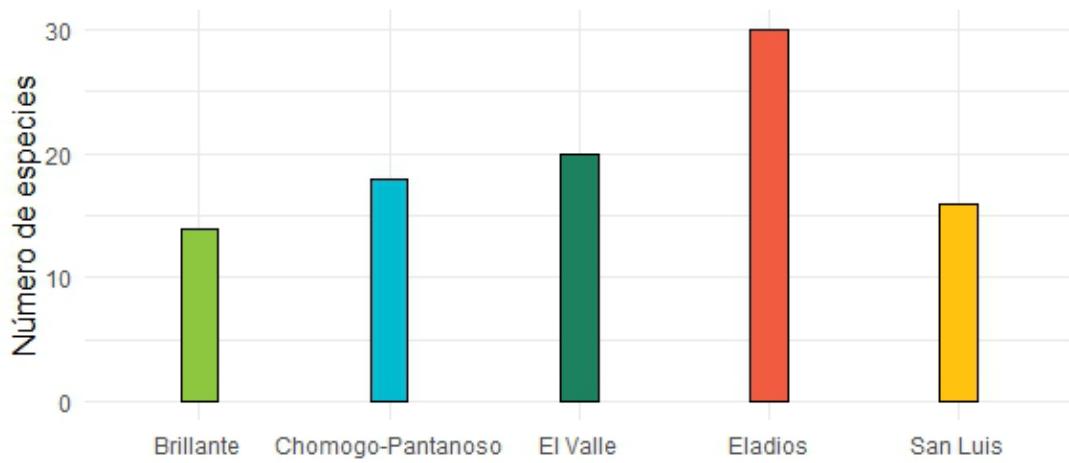


Figura 20. Riqueza de especies de anfibios por sitio de muestreo



La figura 21, muestra el número de especies de reptiles registradas en los diferentes sitios de monitoreo. Eladios destaca como el sitio con la mayor diversidad, con casi 30 especies. San Luis también muestra una alta diversidad, seguido de Chomogo-Pantanoso. En contraste, Brillante y El Valle tienen la menor cantidad de especies, ambas por debajo de 15. Esta distribución sugiere variaciones en la riqueza de especies de reptiles que podrían estar relacionadas con las características ecológicas específicas de cada sitio.

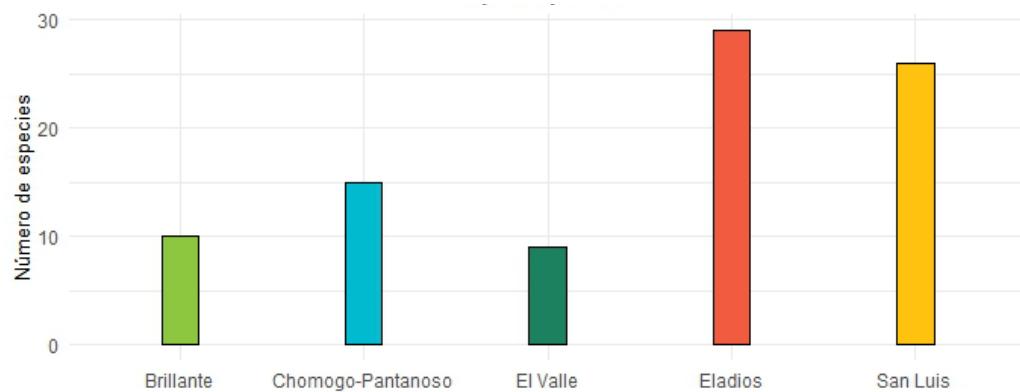


Figura 21. Riqueza de reptiles por sitio de muestreo

5. Conclusiones

La mayoría de las conclusiones que se presentan a continuación son tomadas de los Informes Preliminares de cada monitoreo (Programa Investigación, 2024) y el Proyecto Adopte Una Quebrada (Moreno, 2023).

5.1 Ecosistema boscoso

Riqueza de especies: Felidae fue la familia más representativa y con la presencia de cuatro especies de felinos, incluyendo la oncilla nebulosa que se encuentra en estatus vulnerable y al caucel en estatus casi amenazado por la IUCN. Estas especies de felinos son esenciales para la salud de los ecosistemas boscosos, ya que son depredadores topes, por estar en el nivel superior de la cadena trófica (Mattey Trigueros et al., 2022). Además, la alta detección de presas de estos depredadores, como el saíno, la guatusa, pizotes, y otros mamíferos de menor tamaño muestran la estabilidad de la cadena trófica (Santo et al., 2019; Mattey Trigueros et al., 2022). También se encontró la danta, especie en estatus amenazado, la cual es un herbívoro de gran tamaño y alta movilidad, considerada una arquitecta o jardinera del bosque por su rol ecológico para dispersar semillas, fertilizar el suelo y mantener la vegetación (Naranjo, 2019). La presencia de pumas, saínos y dantas, especies dependientes de áreas extensas de bosque y en especial áreas protegidas, reflejan la disponibilidad de recursos alimenticios y la conectividad del bosque de la reserva con áreas protegidas adyacentes, importantes para el intercambio genético y estado de las poblaciones (Beita et al., 2021).

Considerando la visitación que presenta la Reserva, los resultados sugieren que no hay un impacto significativo de la visitación en la diversidad de mamíferos terrestres en la Reserva, dado que la diferencia en la riqueza de especies entre el tratamiento perturbado y el control es mínima. La presencia adicional de *Odocoileus virginianus* es un caso que requiere de atención, porque esta es una especie que en Costa Rica no está registrada a estas altitudes, por lo que puede ser la señal del inicio de un efecto del cambio climático y por eso se está empezando a observar en la Reserva, pero no implica un efecto adverso considerable de la visitación sobre la diversidad en general.

Patrones de actividad: Aunque no hay diferencia en la riqueza de especies entre los sitios perturbados y control, los resultados indican que la visitación humana en la Reserva tiene un efecto detectable sobre los patrones de actividad de las especies de mamíferos medianos y grandes más comunes, aunque dicho efecto varía.

En el caso del saíno (*Dicotyles tajacu*), el aumento en la presencia de esta especie durante los períodos de alta visitación, especialmente en el tratamiento control, sugiere que los individuos pueden estar adaptándose a la actividad humana en áreas menos perturbadas. El desplazamiento de los picos de actividad hacia horas más tempranas en la mañana (7 a.m.) y más tardías en la tarde (5 p.m. y 6 p.m.) podría estar relacionado con la evitación activa de los horarios en los que hay mayor afluencia de



visitantes. Estos resultados concuerdan con estudios previos que muestran que los mamíferos tienden a ajustar su actividad diaria para minimizar la interacción con los humanos (Gaynor et al., 2018). El hecho de que hay mayor actividad en el tratamiento control en temporada alta sugiere que estas áreas menos perturbadas podrían estar proporcionando refugios que permiten que la especie se mantenga en la Reserva, evitando esta interacción con los humanos. Esta suposición concuerda con lo observado por Cunha (2010), donde solamente detectó *Dicotyles tajacuy* *Dasyprocta* sp. en senderos que no estaban abiertos al público.

En cuanto a la guatusa (*Dasyprocta punctata*), la observación de un aumento en la actividad durante los períodos de alta visitación en el tratamiento perturbado indica que esta especie puede ser más flexible en sus patrones de actividad cuando hay mayores niveles de perturbación (Kataria, 2023). Esto podría ser una estrategia para evitar la interacción directa con los humanos, concentrando su actividad en horas del día en las que la afluencia de visitantes es menor, especialmente en la mañana y tarde. La similitud en los patrones de actividad entre los tratamientos en períodos de baja visitación sugiere que, cuando la perturbación es mínima, esta especie muestra menos necesidad de ajustar su comportamiento. Este hallazgo coincide con estudios que reportan que algunas especies de roedores y mamíferos pequeños tienden a modificar sus horarios de actividad para evitar áreas con alta presencia humana (Barcelos et al. 2022).

Por su parte, el pizote (*Nasua narica*) mostró los cambios más evidentes en cuanto a frecuencia de actividad entre períodos de alta y baja visitación, siendo su frecuencia de actividad mayor durante la alta visitación en ambos tratamientos. Este comportamiento sugiere que, a diferencia del saíno y la guatusa, el pizote podría estar menos afectado por la presencia humana o que podría aprovechar áreas perturbadas y controladas, posiblemente debido a su naturaleza más generalista en cuanto a hábitos alimentarios y de movimiento (Valenzuela y Ceballos, 2000; Cunha, 2010). El hecho de que su patrón de actividad en el tratamiento control permanezca relativamente similar en ambos niveles de visitación también refuerza la idea de que esta especie puede estar habituada o ser más tolerante a la presencia humana.

En resumen, los cambios observados en los patrones de actividad de estas especies sugieren que la presencia humana en la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde está afectando la ecología del comportamiento de algunos mamíferos, fomentando una mayor actividad durante las horas crepusculares. Es importante tener en cuenta que, debido a la naturaleza de la visitación en la reserva, predominantemente diurna, el efecto observado se manifiesta en especies con actividad diurna. No obstante, si los horarios de visitación cambiaron, podrían verse afectadas otras especies con hábitos diferentes, por ejemplo, el caucel y la oncilla nebulosa que tienen hábitos principalmente nocturnos. Esto subraya la necesidad de



considerar las posibles implicaciones ecológicas de cualquier modificación en los horarios de acceso a la reserva. Por el momento, observamos un cambio temporal en los patrones de actividad de las especies afectadas, ya que, durante los períodos de baja visitación, estas tienden a readaptarse a sus patrones normales. Este fenómeno podría estar relacionado con la capacidad de carga que la Reserva ha implementado, buscando generar un impacto "aceptable" en el ecosistema (Mestanza *et al.* 2019). Sin embargo, resulta crucial evaluar cuidadosamente cualquier intento de aumentar esta capacidad de carga, ya que, incluso con la actual limitación de visitantes, estamos detectando efectos significativos sobre la fauna local. Un incremento en el número de visitantes podría agravar estos impactos y conllevar consecuencias ecológicas más severas.

Estos resultados subrayan la importancia de continuar monitoreando los mamíferos de la RBBNM y estudiar de cerca los efectos de la visitación sobre la fauna, especialmente si el número de visitantes sigue en aumento. Las estrategias de manejo de áreas protegidas deberían considerar medidas adicionales para mitigar estos impactos, tales como restringir el acceso a ciertas zonas en momentos clave del día o establecer regulaciones más estrictas sobre la cantidad de visitantes permitidos. Además, futuros estudios podrían enfocarse en explorar si los patrones alterados de actividad tienen implicaciones a largo plazo para la salud, el comportamiento y la supervivencia de las poblaciones de mamíferos en la reserva.

5.2 Sistema Hídrico

Los resultados del programa de ciencia ciudadana Adopta una Quebrada (Moreno, 2023), iniciaron en el 2018, y para casi todos los sitios se observa un aumento anual de las familias de macroinvertebrados encontradas entre el año 2018 al 2022, con excepción de la Quebrada Sucia CA y Quebrada Colegio, las cuales en el 2022 presentaron una disminución de las familias encontradas y de calidad de agua. En octubre del 2017 el Huracán Nate, provocó fuertes y prolongadas precipitaciones en la zona de Monteverde, ante un evento extremo como Nate, el aumento del caudal de las quebradas y la velocidad del agua, incide negativamente en la comunidad de macroinvertebrados. Por lo que se cree, que este aumento de las familias se debe a la resiliencia de los macroinvertebrados para volver a colonizar los diversos microhábitats de las quebradas. Para la Quebrada Sucia CA y Quebrada Colegio la disminución de la calidad del agua están más relacionados con factores de origen antropogénico.

Es importante destacar que la Quebrada Cuecha de la RBBNM fue la quebrada que más aumentó a través de los años el número de familias y la calidad de agua. Esto demuestra que el factor que incide negativamente en la comunidad de macroinvertebrados en ese sitio es principalmente de origen natural. Sin embargo, también se muestra la resiliencia de las quebradas y ríos ante eventos extremos, y la



importancia de la conservación de áreas protegidas en las partes altas de las cuencas, ya que la Quebrada Cuecha es el punto de mayor elevación bajo protección.

5.3 Aves migratorias altitudinales

- **Monitoreo del Quetzal**

Los dos modelos estadísticos en nuestro análisis sugieren que hay aproximadamente 150 Quetzales en la Reserva. Al evaluar la posibilidad de una tendencia temporal, en ambos modelos se observa una variación temporal libre entre años. Es notable que ambos modelos tuvieron la estimación puntual más alta de abundancia (\hat{N}) en el 2021. No encontramos evidencia de una tendencia.

Nuestra incertidumbre sobre la variación temporal en la abundancia de Quetzales se debe, en parte, a la baja probabilidad de detección (p), cuyas estimaciones máximas anuales varían entre 0.05 y 0.32 en ambos modelos. La razón inmediata de las bajas estimaciones de p es que los conteos replicados del mismo sitio y mes pueden ser muy variables. No comprendemos completamente la explicación biológica detrás de esta variación, que podría ser causada por los movimientos individuales de los Quetzales, posiblemente agravada por la heterogeneidad conductual entre individuos y/o la heterogeneidad entre sitios. La mayoría de nuestros valores estimados de p están fuera del rango ($p \geq 0.3$) esperado para producir estimaciones no sesgadas de abundancia en estudios de simulación (Veech et al. 2016, Duarte et al. 2018). Además, según simulaciones de Royle (2004), esperamos que, si existe sesgo, las estimaciones de abundancia sean más frecuentemente sesgadas hacia valores altos que hacia valores bajos. Sin embargo, seguimos creyendo que los modelos de N- mixture son la mejor herramienta a nuestra disposición para interpretar los conteos de Quetzales, teniendo en cuenta la posibilidad de una detección imperfecta. Ante la elección entre reportar estimaciones de abundancia posiblemente sesgadas o no intentar cuantificar la probabilidad de detección y reportar conteos sin modelar, optamos por lo primero.

Desde un punto de vista estadístico, es apropiado reconocer que nuestros modelos podrían estar sobreestimando la abundancia. Sin embargo, desde una perspectiva de historia natural, dos observaciones brindan un amplio respaldo a nuestros resultados: 1) las estimaciones de p siguen la tendencia temporal esperada dentro de cada año; y 2) las estimaciones de abundancia no son descabelladas. La probabilidad de detección (p) varía a lo largo del año (y en ambos modelos) según el patrón esperado: un aumento inicial en los primeros meses del año, seguido de un pico en marzo-abril, y por último una disminución. Esto coincide con el momento de la llegada de los Quetzales a sus zonas de reproducción en Monteverde, el pico de actividad reproductiva y su posterior partida hacia altitudes más bajas, donde pasan la temporada no reproductiva (Powell y Bjork 1994). En cuanto a la magnitud de las estimaciones de abundancia, en una discusión sobre la cantidad de terreno forestal necesario para proteger a los



Quetzales del complejo de reservas de Monteverde, Powell y Bjork (1995) propusieron una estimación de densidad de 44 individuos por km^2 . Este número resultó de sumar el número máximo de Quetzales observados en fragmentos de bosque premontano y montano bajo de la región de Monteverde y dividir la suma por el área total de esos fragmentos.

Para convertir nuestra estimación de aproximadamente 150 individuos en una densidad, y compararla con Powell y Bjork (1995), es necesario estimar el área de bosque utilizada por los animales que estuvieron disponibles para ser detectados desde nuestros puntos de conteo. Esto implica un riesgo, pero si consideramos que los Quetzales pueden ser escuchados desde 100 m de distancia y que sus áreas de distribución abarcan entre 100 y 800 m de diámetro (Solórzano, 2010), podemos suponer que cada una de las 35 áreas de observación cubría un círculo con un radio de entre 200 y 900 m. Considerando 35 áreas de observación y excluyendo la superposición entre ellas, el área utilizada por los Quetzales en nuestro estudio sería de entre 2.70 y 10.29 km^2 . La densidad resultante estaría entre 15 y 55 Quetzales por km^2 . Este número es tan preciso como lo permitan las estimaciones del área subyacente, pero está dentro del mismo orden de magnitud que la única otra estimación publicada para nuestra área de estudio.

La frecuencia de la formación de neblina durante la estación seca en la Reserva ha disminuido drásticamente desde la década de 1970. Este cambio, bien documentado, probablemente ha afectado a las poblaciones de aves, reptiles y ranas, y está fuertemente correlacionado con las temperaturas de la superficie oceánica (Pounds et al. 1999). Se predice que efectos relacionados con el calentamiento global impactarán negativamente los hábitats de los bosques nubosos montanos y sus habitantes, incluidos los Quetzales, en todo el neotrópico (Şekercioğlu et al. 2012, Ponce-Reyes et al. 2013). Una preocupación particular es la posibilidad de que el clima más cálido y seco limite la disponibilidad de árboles podridos o parcialmente podridos, necesarios para los agujeros de anidación que los Quetzales excavan (Renner 2005) o adoptan (Siegfried et al. 2010). Entonces, ¿por qué no detectamos un descenso en la población? La primera y más sencilla respuesta es que el declive podría estar ocurriendo, pero no pudimos detectarlo estadísticamente debido a una combinación de baja probabilidad de detección y un número reducido de visitas por sitio y año. La segunda respuesta es que el declive podría no haber ocurrido aún. Quizás el cambio climático aún no ha afectado la disponibilidad de agujeros de anidación o, simplemente, la demografía de la población de Quetzales es tal que diez años no son suficientes para registrar el cambio (ver Cusser et al. 2021). La tercera, y quizás la respuesta más compleja, es que las consecuencias de una reducción en el éxito reproductivo en la Reserva están siendo enmascaradas por la inmigración de aves adultas que solían reproducirse en altitudes más bajas. Esto no es del todo improbable, ya que, durante las décadas de 1980 y 1990, algunas especies que solían reproducirse predominantemente en el



bosque premontano se encontraron cada vez más en altitudes más altas del hábitat montano bajo (por ejemplo, *Basileuterus culicivorus*, *Pachysylvia decurtata*, *Ramphastos sulfuratus*; Pounds et al. 1999). El Quetzal ya era una especie reproductora del hábitat montano bajo al comienzo de ese período, pero si algunos individuos que solían reproducirse en altitudes ligeramente más bajas fuera de la Reserva se desplazaron hacia arriba, podrían estar enmascarando una tendencia.

Nuestro estudio ofrece una estimación del tamaño de la población de Quetzales en la Reserva en el orden de 150 individuos. También presentamos la ausencia de evidencia de una tendencia poblacional, lo que sugiere que el número estimado se ha mantenido relativamente constante durante los 10 años que abarca nuestro estudio. Ciento cincuenta podría ser un número de referencia útil para futuras comparaciones. Sin embargo, se debe tener precaución al usar nuestros resultados, ya que la probabilidad de detección baja lleva nuestras herramientas de modelado al límite de su capacidad. Un mayor conocimiento sobre la demografía del Quetzal se beneficiaría de realizar más conteos replicados dentro del mismo mes en cada punto por temporada (Veech et al. 2016, Duarte et al. 2018), lo que aumentaría la probabilidad de detección por conteo. El uso de telemetría para el seguimiento de Quetzales no solo mejoraría nuestro conocimiento sobre el tamaño de su rango de reproducción, sino que también complementaría el trabajo realizado en los años 90 por Powell y Bjork (1994, 1995) para comprender el uso del hábitat de los Quetzales en toda la cordillera de Tilarán y mejorar la identificación de áreas de conservación. Con la creciente presión del cambio climático, es posible que estas áreas se estén desplazando hacia mayores altitudes, y los Quetzales podrían quedarse sin espacio pronto.

- **Ojos sobre el quetzal y cambio climático**

Se ha evidenciado que un total de 28 pichones de quetzal han salido exitosamente de los nidos, tanto artificiales como naturales, durante las 8 temporadas de monitoreo. Este logro refleja los esfuerzos significativos para la recuperación y conservación de la especie. Considerando que el quetzal es una especie longeva, con una esperanza de vida de hasta 20 años, es de suma importancia continuar estableciendo estratégicamente nidos artificiales en el bosque para su uso continuo reproductivo.

La depredación y presencia del murciélagospectral se volvió más frecuente en los nidos, esto se puede comprender como una estrategia aprendida por parte de la especie para obtener alimento. Aunque es claro que no es la única depredadora del quetzal, sí muestra un gran reto para no afectar a ninguna de las dos especies y lograr la observación de ambas.

La competencia entre especies por refugios es un factor que ha venido afectando al quetzal a medida que avanzan las temporadas. Esto se debe al aumento de la presencia de especies como el tucán esmeralda y la marmosa lanuda, que antes no eran



registradas utilizando los nidos para anidar. Es evidente que desarrollar estrategias para mitigar estas amenazas es crucial para la conservación del quetzal y evitar su declive del Bosque Nuboso de Monteverde.

- **Pájaro Campana**

A través de los conteos anuales se muestra que el promedio registrado de pájaros campana se encuentra en 100 individuos en la zona de Monteverde.

Los registros de machos siguen siendo más altos con respecto a los registros de hembras y juveniles, esto posiblemente porque los machos son más fáciles de detectar por sus vocalizaciones, perchas y plumaje. Por el contrario, la detección de hembras y juveniles requiere de mayor esfuerzo y detalle ya que su plumaje facilita camuflarse con la vegetación.

En cuanto al dialecto el porcentaje mayor corresponde a Monteverde, seguido del Talamanca y bilingüe respectivamente. Esto sugiere que los pájaros campana siguen aprendiendo vocalizaciones a lo largo de los años, como se evidencia en los registros especialmente de los individuos bilingüe. Es importante considerar que estos datos requieren de estandarización de la metodología por ruta y mayor análisis para estimar la población de la especie.

Otro factor que es importante de considerar para los próximos años, es integrar la variable de fenología dentro del conteo anual. Esto considerando que los recursos alimentarios son limitados, están distribuidos de manera desigual en el paisaje, carecen de una producción anual constante de frutos y son altamente sincrónicos en la producción entre individuos dentro de la especie (Hamilton, Singleton, & Joslin, 2017)

5.4 Herpetofauna

A través del monitoreo de herpetofauna se ha observado que, si bien algunas especies han vuelto a registrarse en el bosque nuboso después del colapso, su abundancia es baja, suponiendo que sus poblaciones no serán estables a largo plazo. Así mismo, la distribución de otras especies ha variado significativamente posiblemente en busca de hábitat con mejores condiciones para adaptarse a los cambios. Estos factores se han observado en la zona de protección absoluta, que es el área sin presión por visitación, cacaería o tala. Al mismo tiempo, esta zona es un área muy rica en recurso hídrico, que podría ser clave para la reproducción de anfibios y al mismo vulnerable a los efectos del cambio climático.

La variabilidad observada en las poblaciones de la herpetofauna y los nuevos registros de especies, indica la importancia de mantener el monitoreo a largo plazo. Esto permitirá detectar tendencias más claras y responder adecuadamente a posibles amenazas.



La recolección continua de datos no solo permite documentar estos avistamientos, sino también entender los cambios en la distribución y abundancia de las especies, lo cual es crucial para la gestión y conservación de la biodiversidad.

5.5 Conclusiones generales

El ecosistema del bosque nuboso representa una red de relaciones de las especies, estas pueden ser interespecíficas e intraespecíficas. Además, cada especie de un ecosistema cumple un rol o función, y está directamente relacionado a factores ambientales y antrópicos que inciden en su supervivencia. Los elementos focales de manejo son indicadores de la salud del ecosistema, donde el ser humano es parte de esta red de interacciones. Por lo tanto, conocer la ecología de las especies, comunidades y poblaciones es una necesidad para la toma de decisiones de manejo adecuado de los recursos naturales de la RBBNM.

Los mamíferos al estar representados en toda la cadena trófica en la zona de uso público correspondiente con el bosque nuboso son indicadores de la buena salud de los ecosistemas boscosos (Beita et al., 2021). Esto resalta la importancia de la conservación que se ha realizado en la reserva mediante un manejo adecuado a través del tiempo en la zona de uso público. Cabe destacar que, aunque la cantidad de especies no varió entre los tratamientos perturbado y control, se observaron cambios en el patrón de actividad de algunas especies debido a la alta o baja visitación. Por lo que se recomienda mantener una capacidad de carga adecuada, que minimice o evite alteraciones en el comportamiento de los mamíferos para asegurar la supervivencia de las poblaciones y la salud del ecosistema boscoso.

El sistema hídrico muestra la resiliencia de las quebradas y ríos, para recuperarse después de una perturbación natural. La comunidad de macroinvertebrados es un bioindicador de esto, por lo que el monitoreo continuo y los esfuerzos conjunto que se puedan desarrollar con Luisa Moreno del Instituto Monteverde y otras organizaciones a través de redes colaborativas pueden fortalecer el conocimiento del recurso hídrico en la RBBNM. Por lo que velar por la cantidad y calidad de agua, es un enfoque prioritario para conocer la salud de los ecosistemas ribereños.

Las aves migratorias han desarrollado estas estrategias para moverse a otras áreas durante su ciclo de vida, por algún recurso limitante o disponible, como los alimentos, refugio y condiciones climáticas que aseguren sus requerimientos básicos para la reproducción y la sobrevivencia de la descendencia. El quetzal y el pájaro campana se mueven a una escala geográfica mayor que otras aves residentes de Costa Rica, e incorporan migraciones altitudinales donde aprovechan los recursos de varios tipos de hábitat o bosques de otras elevaciones y por tanto con composiciones vegetales diferentes.



En el caso del quetzal se estima una cantidad de 150 quetzales en la RBBNM, también se estima entre 15 y 55 quetzales por km². No hay evidencia clara de una tendencia de declive poblacional. Existen tres razones por las cuales se pueden explicar: 1) el declive podría estar ocurriendo, pero no pudimos detectarlo estadísticamente, 2) quizás el cambio climático aún no ha afectado la disponibilidad de agujeros de anidación o, simplemente, la demografía de la población de Quetzales es tal que diez años no son suficientes para registrar el cambio (Cusser et al. 2021), 3) quizás las consecuencias de una reducción en el éxito reproductivo en la Reserva están siendo enmascaradas por la inmigración de aves adultas que solían reproducirse en altitudes más bajas.

En cuanto a la ecología del quetzal, se reportaron 28 pichones que han salido exitosamente del nido en 8 temporadas de muestreo. Esto refleja los esfuerzos de conservación realizados en la RBBNM. También resalta la importancia de la colocación estratégica de los nidos artificiales. Cabe resaltar que la dieta de los pichones se basa principalmente de frutos, invertebrados y complementan con algunos vertebrados. Además, se observa que los competidores del nido son el tucancillo verde y la marmosa lanudo, así como reporte del depredador murciélago espectral. Conocer la ecología del quetzal y los factores que le afectan durante el anidamiento es crucial para tomar decisiones para su conservación.

Ante los declives de poblaciones y pérdida de especies de anfibios y reptiles, el estudio continuo de la herpetofauna es esencial para conocer su estado actual, y qué factores pueden incidir en sus poblaciones. En especial de las especies *Isthmohyla angustilineata* (Rana arbórea de líneas estrechas) en peligro crítico de extinción e *Isthmohyla rivularis* (Rana arborícola de arroyos) en peligro de extinción, y *Anolis leditzgorum* (Anolis de bosque nuboso) en preocupación menor. Por esto monitorear las tendencias a largo plazo aportará al entendimiento de las especies y sus potenciales amenazas.

El cambio climático es latente, por el cambio de la precipitación tanto vertical como horizontal, el aumento de días secos, y los eventos de precipitación en un corto tiempo. Relacionar los patrones observados en aves, mamíferos, anfibios y reptiles con la variación climática a lo largo del tiempo, es un estudio a largo plazo, pero clave para conocer el impacto sobre las especies y el ecosistema. Así como establecer los umbrales del estado poblacional de las especies que en conjunto son bioindicadoras de la salud del ecosistema del bosque nuboso.

Se espera que, para el primer trimestre del 2025 se dispondrá de los informes de los proyectos interinstitucionales: Parcelas Permanentes de Monitoreo (INISEFOR-UNA), Estación Meteorológica (CIGEFI-UCR) y Fenología (EDECA-UNA), los cuales podrán complementar los resultados presentados y su posible relación con cambio climático.



6. Referencias

- Arguedas, S., Sierra, C., & Valverde, A. (2019). *Caracterización situacional de la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde como insumo para la elaboración del plan de manejo*. Puntarenas, Costa Rica: FunTropos.
- Arguedas, S., Sierra, C., & Valverde, A. (2019). *Diagnóstico situacional de la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde como insumo para la elaboración del plan de manejo*. Puntarenas, Costa Rica: FunTropos.
- CCT. (2005). *Plan General de Manejo de la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde*. Puntarenas, Costa Rica.
- Conservation Measures Partnership. (2020). *Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación*.
- Dudley, N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de las áreas protegidas*. UICN.
- Hamilton, D., Singleton, R., & Joslin, J. (2017). Resource tracking and its conservation implications for an obligate frugivore (Procnias. *BIOTROPICA*, 1-11.
- Moreno, L. (2023). *Informe Parcial- Programa de Ciencia Ciudadana Adopte Una Quebrada*. Monteverde: Instituto Monteverde.
- Programa Investigación-RBBNM. (2024). *Informe de Avance: Monitoreo de Herpetofauna*. Monteverde, Puntarenas: CCT.
- Programa Investigación-RBBNM. (2024). *Informe de Avance: Monitoreo de Mamíferos*. Monteverde, Puntarenas: CCT.
- Programa Investigación-RBBNM. (2024). *Informe de Avance: Monitoreo del Quetzal Resplandeciente*. Monteverde, Puntarenas: CCT.
- Programa Investigación-RBBNM. (2024). *Informe de Avance: Ojos sobre el quetzal resplandeciente y el cambio climático*. Monteverde, Puntarenas: CCT.
- Sánchez, M. (2013). *Protocolo de establecimiento y medición de Parcelas Permanentes de Muestreo en bosque natural*. Heredia: INISEFOR.
- SINAC. (2014). *Guía para el diseño y formulación del Plan General de Manejo de las Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Wheelwright, N., & Nadkarni, N. (2014). *Monteverde: ecología y conservación de un bosque*. Bowdoin's Scholars' Bookshelf. Obtenido de <http://digitalcommons.bowdoin.edu/scholars-bookshelf/3/>

