



Protocolo de

Monitoreo de Biodiversidad



Protocolo de

Monitoreo de Biodiversidad

Protocolo de monitoreo de Biodiversidad

Proyecto Agroforestería para la Conservación

AUTORES

The Nature Conservancy

Diego José Lizcano Melo

Instituto de Investigación de Recursos

Biológicos Alexander Von Humboldt

Angélica Diaz Pulido

Bibiana Gómez Valencia

COLABORADORES

The Nature Conservancy

Maria Fernanda Ordóñez

The Amazon Conservation Team Colombia

Maria Patricia Navarrete

Libardo Díaz

Edgar Rodrigo Núñez

Wilmer Silva

Alexis García

Edinson Lara

Sául Gutiérrez

Rafael Calderón

Ubency Cerquera
Pedro de Alejandría Jiménez
Gonzalo Gómez
Jhon Fredy Sabogal
Germán Laserna

Universidad de la Amazonía
Javier García
Olber Leonardo Llanos
Luisa F. Martínez
Gerlando Delgado-Bermeo

PNN Alto Fragua Indiwasi
Arleth González Perez
Edwin García Jaramillo
Fundación Proterra
Fabio Andrés Zabala
Vanessa Ospina
**Instituto Amazónico de
Investigaciones Científicas SINCHI**

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

.Puntoaparte Bookvertising

Dirección de arte

Diego Cobos

Diseño y diagramación

Angélica Villate

Ilustración

Iván Cortés, Mónica Quevedo

Corrección de estilo

Alejandra Posso

ISBN: 978-958-53050-1-4

This Project is part of the International Climate Initiative (IKI). The German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety (BMU) supports this initiative on the basis of a decision adopted by the German Bundestag.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos y otros fines comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor. Siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

Cita de la obra:

The Nature Conservancy, Amazon Conservation Team. Protocolo de monitoreo de Biodiversidad. 2019. Colombia

No comercializable - Distribución gratuita

“Agroforestería para la conservación” es un proyecto implementado por The Nature Conservancy (TNC) y The Amazon Conservation Team Colombia (ACT), financiado por la Iniciativa Internacional del Clima (IKI) del Ministerio Federal de Ambiente de Alemania, que tiene como objetivo la implementación de sistemas agroforestales sostenibles como una estrategia para reducir la deforestación, contribuir a la restauración y conectividad de los bosques, mejorar la conservación de la biodiversidad y mitigar el cambio climático.

La implementación del proyecto con comunidades campesinas e indígenas del piedemonte

y la planicie amazónica del Caquetá, ha generando valiosas lecciones aprendidas para lograr una agroforestería sostenible en la región.

Estos aprendizajes han sido compilados en una “Caja de herramientas de la Agroforestería para la Conservación”, diseñada especialmente para las instituciones locales, técnicos agropecuarios, productores y comunidades. Esperamos que sea un instrumento que les permita fortalecer sus capacidades para planear, implementar y monitorear sistemas agroforestales, contribuyendo a la consolidación de un paisaje amazónico sostenible.

María Fernanda Ordóñez Castro
The Nature Conservancy

María Patricia Navarrete Serna
The Amazon Conservation Team



Implementado por:
The Nature Conservancy
Colombia



Fomentado por el:
 Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza
y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del Parlamento
de la República Federal de Alemania

**Colaboradores de
las veredas de los
municipios de Belén
de los Andaquíes,
San José del
Fragua y Cartagena
del Chairá, en
el proyecto
Agroforestería para
la Conservación**

Abel Plazas **Carlos Julio** García
Albeiro Cañón **Carlos Augusto** Quintana
Alfonso Yucama **Carlos Antonio** Hernández
Alfonso Poveda **Carlos** Gallego
Alfredo Briñez **Carmelina** Yunda
Alirio Celis **Daiber** Quintero
Alirio Sánchez **Dimas** Gil
Alirio Guzmán **Diocelina** Pajoy
Álvaro Cantillo **Dora Luz** Enciso
Álvaro Quintero **Duberney** Prado
Andrés Cuartas **Edgar** Lombana
Andrés Gutiérrez **Edinson** Ome
Arbey Peralta **Edusmildo** Ríos
Arcesio Cali **Enrique Antonio** Daza
Armando Polanía **Erika Andrea** Cardona
Armando Calderón **Erley** Silva
Arnulfo Sánchez **Hermila** Cantillo
Baudilio Endo **Espedito** Plazas
Blanca Luz Martínez **Fabio** Campiño

Félix Lozano	Henry Plazas	Miguel Ángel Cantillo	Ricardo Valenzuela
Fermín Briñez	Herminso Gómez	Milson Rojas	Riquelio Celis
Fernando Ortiz	Horacio Calderón	Nataly García	Roberto Vega
Fernando Espinel	Huber Yucuma	Nelson Cano	Rosalba Soto
Ferney Oyola	Idelin Alberto Pulido	Nelson Osorio	Rubén Mosquera
Francisco Espinoza	Ismaelina Cometa	Néstor Albeiro Palomo	Rubiela Huaca
Fredy Moreno	Israel Castillo	Nubia Perdomo	Rubiela Vega
Gamaliel Gaviria	Jorge Martín Ramada	Nury Cenaída Muñoz	Salvador Mancera
Gerardo Oviedo	José Hernando Lugo	Ofelia Vargas	Uldarico Cruz
Germán Rico	Juan de Jesús Sanabria	Ofelia Soto	Uriel Cuartas
Gilma Hoyos	Luis Enrique Lozano	Olga Yamile Valbuena	Wenceslado Prada
Gladys Loaiza	Luis Antonio Antury	Omar Ortiz	William Narváez
Gonzalo Gómez	Luis Jiménez	Orlando Silva	Yeison Ramírez
Graciela Araos	Manuel Díaz	Ovidio Enciso	Yonatan Ocampo
Gregorio Rodríguez	Marcos Londoño	Pedro Piamba	
Gustavo Torres	María Alisneila Pérez	Pedro Calderón	
Hebert Serrezuela	María Jiménez	Rafael Calderón	
Heber Jairo Hermida	María Nidia Salazar	Regelio Ortiz	
Helid Lugo	Maricel Idrobo	Reymundo Cerquera	

Colaboradores de las comunidades indígenas en el proyecto Agroforestería para la conservación

CABILDO MAYOR ASOCIACIÓN TANDACHIRIDU INGANOKUNA

Carlos Enrique Cortés Jamioy
Gobernador Mayor

Faber Huaca Muñoz
Alcalde Mayor

Jair Salazar Jacanamejoy
Alguacil Mayor

Jhony Ferney Huaca Muñoz
Coordinador Plan de Vida

TAITAS ACOMPAÑANTES

José Alfredo Mojomboy Jojoa
Paulino Chindoy Yanagona

RESGUARDO YURAYACO

Dioselina Penagos
Gobernadora

Flora Maca
Rectora y Participante

Azael Delgado
**Anciano Consejero y
Participante**

María Eudocia Jacanamejoy
**Anciana Consejera y
Participante**

Natividad Mutumbajoy
**Anciana Consejera y
Participante**

Brigida Jacanamejoy
Anciana Consejera y Participante

Evirley Mutumbajoy
Docente y Participante

RESGUARDO BRISAS

Asael Burgos Jacanamejoy
Gobernador

Genny Lorena Muchavisoy
Alcaldesa

Paola Andrea Becerra
Alguacila Mayor

Jhon Arbey Jacanamejoy
Alguacil Menor

Gonzalo Buesaquito
Anciano Consejero

Eugenio Jacanamejoy
Participante

Laureano Jacanamejoy
Docente y Participante

Diana Buesaquito
Participante

Francisco Buesaquito
Participante

Eugenio Jacanamejoy
Participante

Angélica Burgos
Participante

Mamerto Chindoy	Willian Ortiz	Blanca Parra Chindoy
Participante	Participante	Participante
RESGUARDO SAN MIGUEL		
Sonia Rocio Burgos	Luis Arturo Huaca	Everardo Rentería
Mutumbajoy	Participante	Participante
Gobernadora (2020)	Gustavo Obregon	Carlos Eduardo Yela
María Antonia Mutumbajoy	Participante	Participante
Anciana Consejera y gobernadora (2019)	Arley Diaz	Olga Lucía Jamioy
María Ermila Huaca	Participante	Participante
Alcaldesa	James Martus	Bernarda Becerra
Willian Ortiz Muchavisoy	Participante	Participante
Alguacil	Ever Acero	Jhon Fredy Garcés
Isabel Jacanamejoy	Participante	Docente y participante
Participante	Esneider Delgado	RESGUARDO CUZUMBE AGUA BLANCA
Ricardo Hoyos	Participante	Edwar Fabian Leyton
Anciano Consejero	RESGUARDO NIÑERAS	Gobernador y Participante
Alfonso Mutumbaajoy	Eliberto Camacho	Diana Gutiérrez Becerra
Anciano Consejero	Gobernador (2020)	Alcaldesa
Alvaro Mutumbajoy	Fanny Jael Jamioy	Herminia López
Anciano Consejero	Gobernadora (2019)	Anciana Consejera y Participante
Carlos Diaz Cenon	José Orjuela	Luz Emérita Becerra
Participante	Alcalde	Docente y Participante
Hernán Jacanamejoy	Luis Alejandro Garcés	Antonio Yanagona
Participante	Alguacil	Participante
Fabian Ortiz	Manuel Yanagona	Edwar Fabian Yanagona
Participante	Secretario y Participante	Participante
Reinerio Huaca	Camilo Camacho	Sebastian Rueda
Participante	Participante	Participante
María Fenith Garces	María Fenith Garces	
	Participante	

Capítulo
01

- 10** Presentación
- 12** Biodiversidad y la importancia de monitorearla

13 ¿Qué es biodiversidad y por qué monitorearla?

15 ¿Qué se entiende por monitoreo?

16 Indicadores para el monitoreo

16 Objetivo del monitoreo de la biodiversidad

Capítulo
02

- 18** Diseño de iniciativas de monitoreo
- 19** Componentes para estructurar un monitoreo
- 23** Costos de monitoreo
- 24** Caso de estudio

Capítulo
03

30

Ruta para monitorear la biodiversidad con trampas cámara

34

Procedimiento 1. Selección del área de estudio

36

Procedimiento 2. Diseño y metodología de monitoreo

40

Procedimiento 3. Pasos previos al uso de las cámaras

42

Procedimiento 4. Instalación de las cámaras

46

Procedimiento 5. Recomendaciones luego de usar las cámaras

48

Procedimiento 6. Recomendaciones para el manejo de la información generada por las trampas cámara

54

Procedimiento 7. Análisis de datos

62

Literatura citada



Alcance del protocolo

El objetivo del **Protocolo de Monitoreo de Biodiversidad** es guiar metodológicamente a las personas interesadas en diseñar e implementar sistemas de monitoreo de biodiversidad basados en el uso de trampas cámara. Aunque no se requieren conocimientos previos para la implementación del protocolo, se recomienda a manera general conocer la fauna de los territorios donde se quiere iniciar el monitoreo y contar con la asesoría

de personal con experiencia previa en proyectos similares. El siguiente documento consta de tres partes: en la primera se describe el significado y la importancia de la biodiversidad; en la segunda se explica el proceso general para diseñar el monitoreo de la biodiversidad, y en la tercera se describe el paso a paso a la hora de realizar el monitoreo de mamíferos por medio de trampas cámara y como analizar la información generada.

Capítulo
01

Biodiversidad y la importancia de monitorearla

¿Qué es biodiversidad y por qué monitorearla?

La Biodiversidad reúne la totalidad de organismos vivos en la tierra, e incluye varios niveles de complejidad que van desde los niveles genéticos hasta los niveles ecosistémicos y globales¹. **La Biodiversidad es vital para la supervivencia humana y es una medida de la salud de nuestro planeta².** Las actividades humanas impactan irreversiblemente la biodiversidad, como resultado, se han incrementado las tasas de extinción, los ecosistemas se han degradado y la diversidad genética ha declinado³⁻⁵. El efecto de estos impactos ha llegado a tal punto que ahora vivimos en una era geológica totalmente dominada por las actividades humanas, denominada “Antropoceno”⁶⁻⁸. La biodiversidad es fundamental para las comunidades locales debido a que muchos de los elementos de los cuales nos alimentamos son producto de ella. Adicionalmente, algunos de los sitios naturales y algunas especies tienen una conexión más directa con el mundo espiritual de las comunidades indígenas.

Como respuesta al problema de la pérdida de biodiversidad, en el año 2012 el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), el cual es un tratado multilateral firmado por 193 países que hacen parte de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), estableció 20 metas que deben alcanzarse en 2020 para frenar la pérdida de la biodiversidad. Estas metas coinciden con el comienzo de la década de la biodiversidad de la ONU 2010-2020 y se conocen como las metas Aichi.

Estas metas son parte del plan estratégico de la CDB, el cual espera que para el año 2050 la biodiversidad sea valorada, conservada, restaurada y usada adecuadamente, manteniendo los servicios ecosistémicos que presta, sosteniendo la salud del planeta y proveyendo beneficios esenciales para todo el mundo. Sin embargo, **se ha identificado que nuestra habilidad para alcanzar estas metas podría estar seriamente comprometida si se ignora la investigación**



La biodiversidad es fundamental para la supervivencia de las personas. por ejemplo gran parte de los alimentos dependen de ella. Por esto tiene un alto valor cultural.



La transformación de ecosistemas causada por la deforestación, entre otros, es una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad

y monitoreo de biodiversidad en las áreas más biodiversas⁹.

Paralelamente a la CDB, en 2012 la ONU estableció la plataforma intergubernamental sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos (IPBES) como un organismo independiente, comprometido a evaluar el estado de la biodiversidad del planeta, sus ecosistemas y los servicios esenciales que proveen a la sociedad, con el objetivo de incorporar esta información en los procesos políticos a diversas escalas, mejorando la toma de decisiones. La IPBES tiene una función análoga, pero en el área de biodiversidad, a la función que cumple el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Paralelamente, se ha creado el grupo de especialistas de monitoreo de especies de la IUCN, cuya misión es aumentar la conservación de la biodiversidad al mejorar la disponibilidad y el uso de datos de poblaciones de especies, sus hábitats y sus amenazas. Colombia, como país biodiverso y signatario del CDB, se ha comprometido a frenar los agentes que causan pérdida de biodiversidad, a salvaguardar los ecosistemas, preservar las especies y su diversidad genética, y a compartir los beneficios que generan la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Sin embargo, para alcanzar estas metas el país debe

enfrentar varios retos, entre los cuales está que 30% al 50 % de los ecosistemas colombianos ya están transformados^{10,11}. La deforestación continúa siendo alta y las actividades ilícitas amenazan las áreas protegidas^{12,13}.

Alcanzar las metas Aichi requiere de un sistema de monitoreo de la biodiversidad para el cual la Alianza para los Indicadores de la Biodiversidad (Biodiversity Indicators Partnership en inglés, y del que TNC es miembro activo) y el consorcio GEO BON han desarrollado algunos indicadores de monitoreo de biodiversidad a escala global¹⁴. Estos indicadores se han denominado las variables esenciales de la biodiversidad, (Essential biodiversity variables en inglés), las cuales son un conjunto mínimo de medidas que se requieren para estudiar, monitorear y reportar cambios en la biodiversidad y los ecosistemas a escala global^{15,16}. En Colombia, la implementación de la iniciativa a nivel nacional está en progreso, tarea que ha sido asumida por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, quien tiene el gran reto de integrar los indicadores de escala regional y nacional con los globales¹⁷. Una forma de abordar este reto podría ser combinando dispositivos automatizados de toma de datos con sensores remotos, usando técnicas modernas de modelación estadística¹⁸.

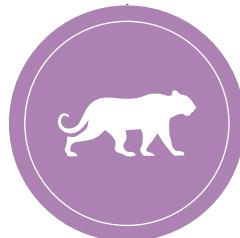
¿Qué se entiende por monitoreo?

El monitoreo es el procedimiento para verificar el cambio de alguna situación o condición de interés. La Real Academia de la lengua lo define como: “*observar mediante aparatos especiales el curso de uno o varios parámetros fisiológicos o de otra naturaleza para detectar posibles anomalías*”.

Es importante aclarar que estas dos finalidades no son excluyentes. La mayoría de los programas de monitoreo están diseñados para generar información que ayude a la toma de decisiones y a la creación de políticas basadas en datos rigurosos y hechos científicos.



está
orientado a:



Obtener datos para el
conocimiento científico



Generar información
necesaria para la gestión
y manejo sostenible de la
biodiversidad¹⁹

Indicadores para el monitoreo

Debido a la complejidad de los niveles de la biodiversidad, al conocimiento taxonómico incompleto, y al alto costo de las evaluaciones totales de biodiversidad, el monitoreo se apoya en indicadores. Los indicadores de la biodiversidad pueden ser:

1

CUANTITATIVOS: Porcentaje de ocupación, abundancia o densidad de alguna especie, área de hábitat ocupado, número de especies de interés o típicas en el hábitat, etc.

2

CUALITATIVOS: Presencia o ausencia de una especie indicadora.

Existe una extensa gama de opciones y posibilidades para el monitoreo de la biodiversidad que van

desde indicadores de nivel genético²⁰ hasta de escala espacial²¹, razón por la cual es indispensable tener muy claro el objetivo del monitoreo para seleccionar la opción más adecuada para cada situación.

Objetivo del monitoreo de la biodiversidad

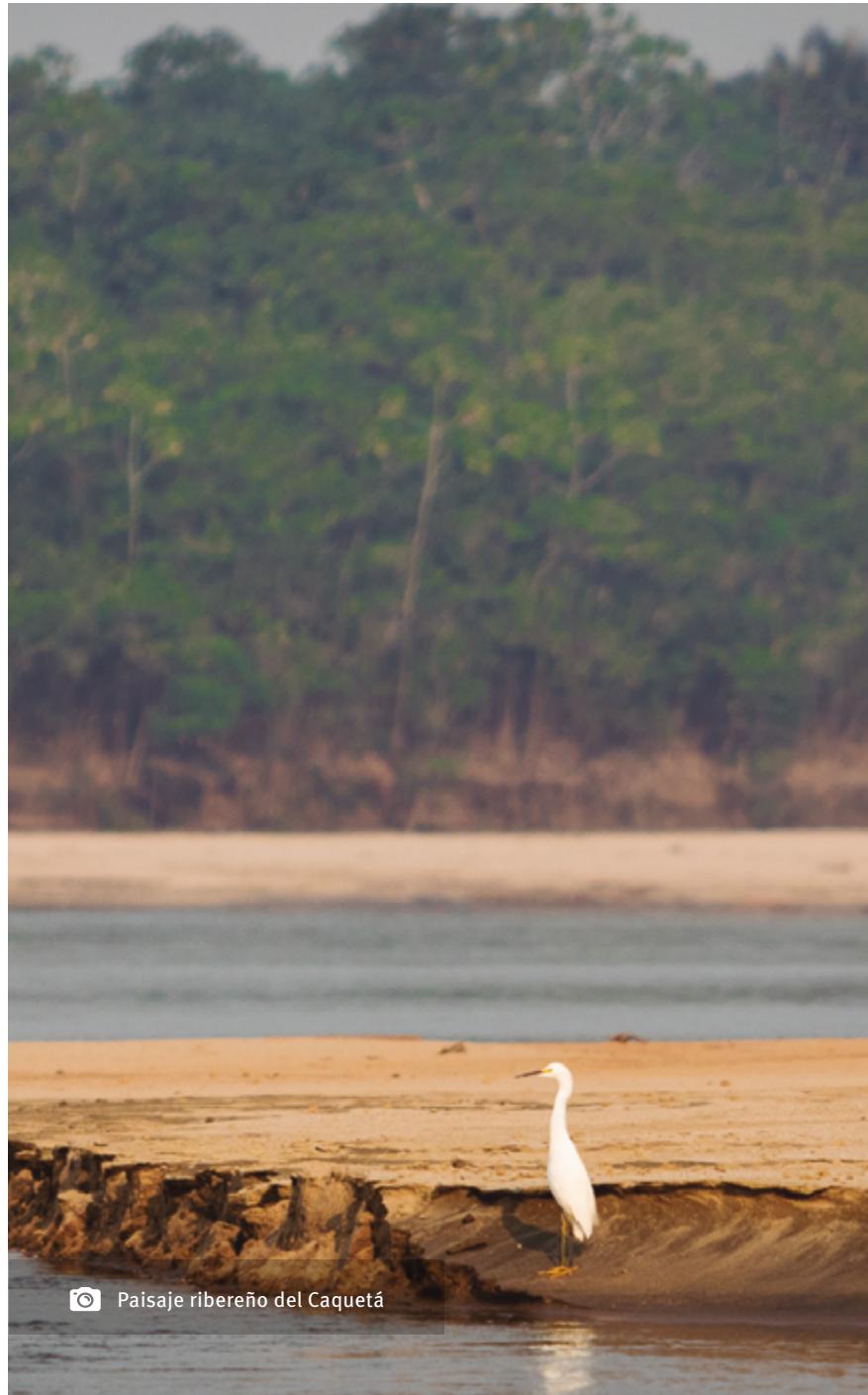
Estos objetivos deben ser claramente definidos antes de comenzar a monitorear para asegurar el uso eficiente de los recursos, pues el monitoreo a largo plazo requiere tiempo, dinero y esfuerzo que bien podría ser empleado en otras tareas, como por ejemplo el manejo, la investigación, la educación o la extensión con las comunidades.



Monitorear la biodiversidad es fundamental para generar información que ayude a la toma de decisiones y creación de políticas basadas en datos rigurosos y hechos científicos.

Las metas u objetivos pueden estar categorizados en grandes grupos para:

1. Generar conocimiento científico detallado a través del tiempo o espacio
2. Alertar sobre cambios poco comunes de la biodiversidad
3. Verificar cambios causados por las intervenciones en el uso y manejo de la biodiversidad



© Paisaje ribereño del Caquetá

Capítulo 02

Diseño de iniciativas de monitoreo

Componentes para estructurar un monitoreo

El éxito de las iniciativas de monitoreo de biodiversidad reside en organizar los componentes necesarios para producir los resultados deseados según cada propósito. Estos son:

1. OBJETIVOS Y PREGUNTAS CLAVE DEFINIDOS



Se realizan antes de iniciar el monitoreo, porque facilitan la construcción de modelos conceptuales que proporcionan la selección de los elementos de la biodiversidad para monitorear.

2. SELECCIÓN DE METODOLOGÍA



Se debe adoptar la más apropiada para generar la información con el nivel de precisión deseado.

3. DISEÑAR UN MODELO CONCEPTUAL



Debe exponer de forma simplificada cuáles son y cómo interactúan los potenciales aspectos biológicos, ecológicos, climáticos, sociales, económicos o culturales relacionados con la pregunta clave y el objetivo del programa o sistema de monitoreo.

4. MÉTODO O PROTOCOLO DE MONITOREO



Este depende de:
1. La información que se requiera,
2. La información disponible, **3.** Las habilidades técnicas del equipo de monitoreo y **4.** La disponibilidad de tiempo y recursos que tienen los integrantes del equipo que monitorea y analiza (Figura 1).

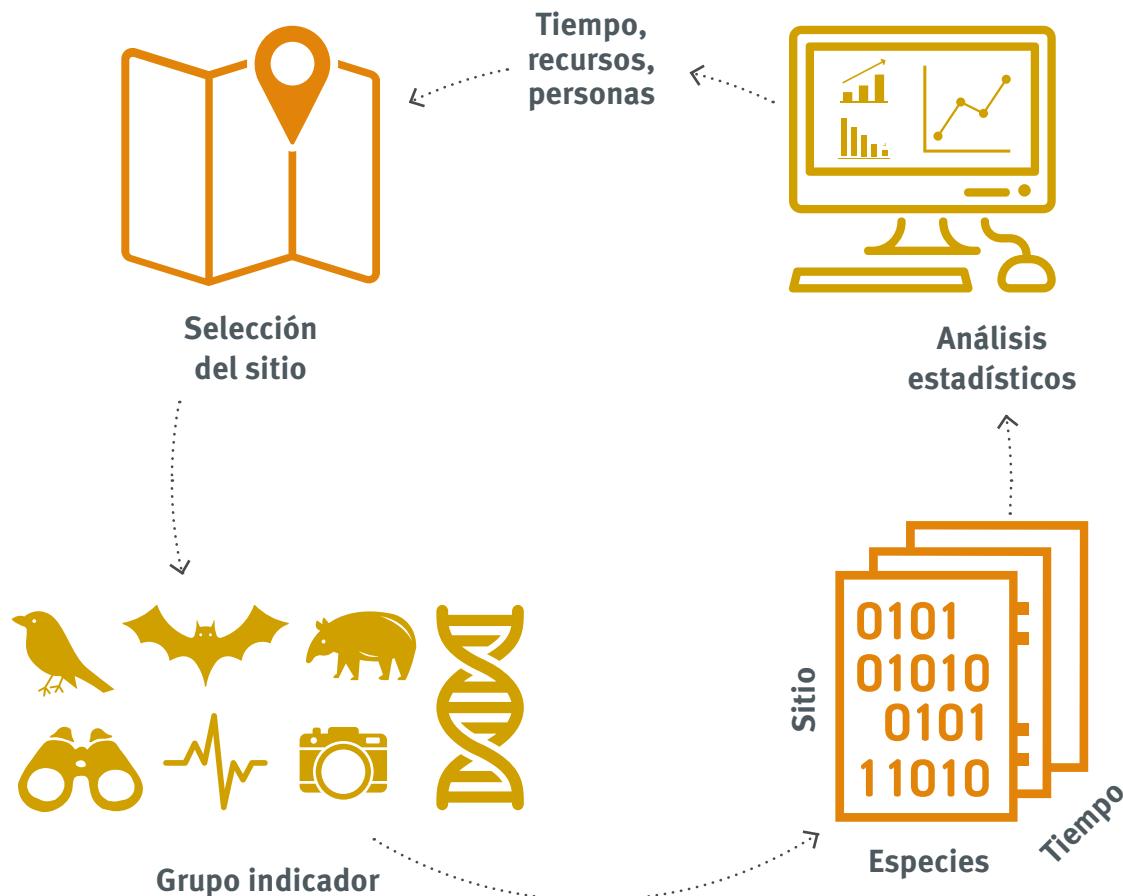
Los componentes deben guiar la planificación y ejecución de las iniciativas de monitoreo, y responder a las siguientes preguntas orientadoras:

Preguntas orientadoras



Figura 1.

Ciclo adaptativo para el diseño de sistemas de monitoreo de biodiversidad, a partir de la selección de sitios de monitoreo, grupo objetivo o indicador (sustituto) y método, considerando el tiempo y los resultados.



El proceso de construcción de una iniciativa de monitoreo de la biodiversidad debe contar con la participación de los principales actores involucrados en el monitoreo, apoyados por especialistas en biodiversidad, manejo de

datos y estadística, y teniendo en cuenta las experiencias y lecciones aprendidas en otras iniciativas²⁴. En la Figura 1 se presentan el ciclo adaptativo del diseño de sistemas de monitoreo de biodiversidad.

 REC

¿QUÉ DETERMINA LA CALIDAD DEL MONITOREO?



Un buen método o protocolo de monitoreo de la biodiversidad debe ser:

Preciso: Proporciona un error mínimo al tomar y analizar los datos.

Confiable: Los resultados obtenidos usando el método seleccionado son consistentes y replicables.

Costo efectivo: El costo de la obtención de los datos no debería ser excesivo para los recursos con los que cuenta el proyecto o programa de monitoreo.

Posible (Viable): El equipo del proyecto está en la capacidad técnica de usar el método o protocolo, así como los materiales y recursos financieros que impone el uso del método.

Idóneo: El método debe ser adecuado y conveniente para el contexto ambiental, cultural y político del proyecto.



Costos de monitoreo

Para garantizar la continuidad de la iniciativa de monitoreo, deben preverse los costos en todas las etapas, desde el comienzo del proceso, y la capacitación permanente de todos los participantes involucrados²², debido a que los presupuestos determinan en gran medida las opciones de monitoreo²³. Por ejemplo, la disminución de costos de algunas tecnologías de monitoreo con sensores remotos, tales como las cámaras pasivas, los detectores acústicos, las imágenes de alta resolución de satélites o los drones, proveen la capacidad de colectar de manera rápida y eficiente grandes cantidades de datos para regiones extensas y de muchas especies, como nunca antes fue posible²⁵⁻²⁸.



Montaje trampa cámara en el bosque



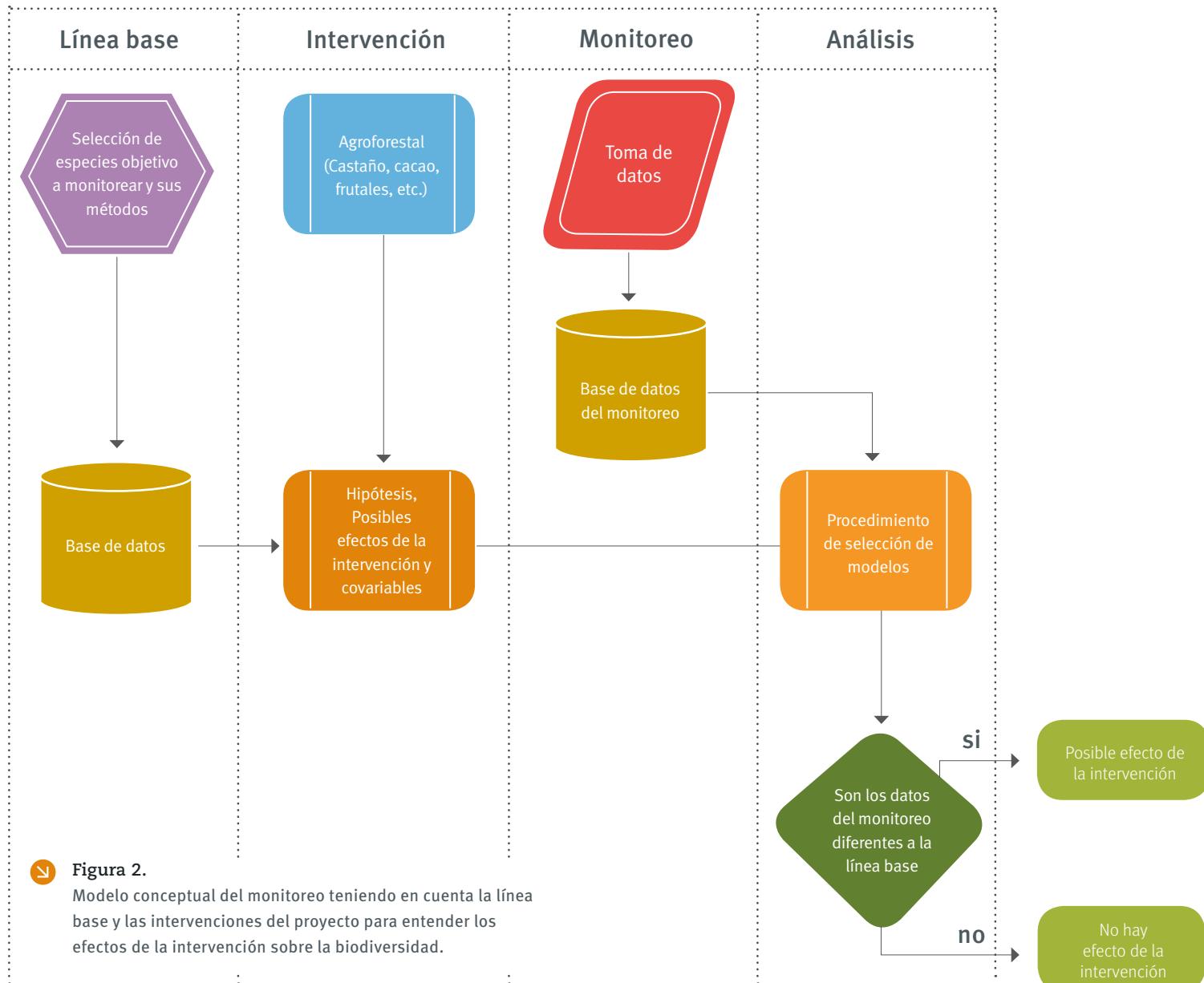
Caso de estudio:

Ejemplo de las preguntas claves del monitoreo de biodiversidad dentro del proyecto AGROFORESTERÍA PARA LA CONSERVACIÓN

Propósito del monitoreo (objetivo)

El propósito del monitoreo del proyecto Agroforestería para la conservación era establecer la línea base de biodiversidad y verificar los cambios causados por las intervenciones humanas en el paisaje (como por ejemplo la Huella Humana, mas información en <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2018/cap2/206/>). En particular se buscaba determinar el efecto de las diferentes implementaciones en sistemas productivos sostenibles sobre la biodiversidad (Figura 2).

1 Modelo conceptual del monitoreo





¿CUÁLES SON LOS ASPECTOS MÍNIMOS DE UN MONITOREO?



La Alianza para los Indicadores de la Biodiversidad ha propuesto cinco puntos con que debería tener un sistema de monitoreo ideal a nivel global, el cual debería cumplir con:

- ① Tener un número representativo de localidades de muestreo.
- ② Un número adecuado y suficiente de muestras.
- ③ Suficiente detección de las especies objetivo.
- ④ Una muestra representativa de especies.
- ⑤ Un esquema de muestreo temporal.

Estos sistemas ideales de monitoreo deberían seleccionar sus localidades de muestreo sin sesgos particulares a un tipo especial de hábitat o región. Tener un gran número de muestras, asegurándose que cada especie objetivo (comunes y raras) son contadas adecuadamente sin enfocarse exclusivamente en alguna de las dos. Adicionalmente, los muestreos repetidos son clave para poder inferir las tendencias poblacionales a largo plazo.



2

¿Qué y cómo monitorear?

Idealmente se debería monitorear especies y ecosistemas relacionados con las implementaciones agroforestales seleccionadas para la zona de Fragua (Cacao y Castaño) y agroforestales y silvopastoriles para la zona del piedemonte Andino-Amazónico. En este caso, los grupos objetivo seleccionados para el monitoreo fueron los vertebrados terrestres. Las principales razones para seleccionarlos como grupo indicador son: su ubicuidad, su taxonomía relativamente estable, fácil reconocimiento y recordación por los pobladores locales.

El nivel de monitoreo está más relacionado con la presencia o ausencia en cada localidad de monitoreo, que con abundancias o densidades. Al mismo tiempo, la presencia o ausencia está directamente relacionada con la composición de la comunidad

de especies (i.e. qué especies hay) como indicador de la funcionalidad del sitio. En este sentido, el grupo seleccionado como indicador permite construir y calcular el Índice de imágenes de vida silvestre (en inglés Wildlife Picture Index - WPI) a partir de los estimados de ocupación de cada especie con más de 10 registros²⁹⁻³².

3

¿Por qué y para qué monitorear?

Para mostrar los beneficios que trae la implementación de sistemas agroforestales en la biodiversidad y así crear una estrategia para reducir la deforestación.



Las principales razones para seleccionar los vertebrados terrestres como grupo indicador son: su ubicuidad, su taxonomía relativamente estable, fácil reconocimiento y recordación por los pobladores locales.

4

¿Quién monitorea y para quién?

Quienes monitorean son TNC y el Instituto Alexander von Humboldt (IAvH), en conjunto con investigadores de Amazon Conservation Team (ACT) y la Universidad de la Amazonía. Así mismo, se busca la articulación del monitoreo con otros actores locales, los propietarios de los predios y las autoridades indígenas. El monitoreo se efectúa para el proyecto Agroforestería para la conservación y los donantes del proyecto.

6

¿Qué hacer con los datos?

Los datos se irán almacenando y analizando en TNC. Se espera que a largo plazo la iniciativa permita implementar una plataforma para almacenar y compartir los datos en conjunto con los de carbono, deforestación y cambio de uso. Los datos también serán almacenados y compartidos públicamente a través de la Infraestructura Institucional de Datos e Información del Instituto Humboldt (I2D), la cual está integrada y contribuye al crecimiento y consolidación de redes y sistemas de información nacional como el SIB Colombia, la red nacional de datos abiertos sobre biodiversidad, nodo oficial del país en la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF).

5

¿Cómo mantener la iniciativa a lo largo del tiempo?

Esta iniciativa tiene una duración de dos años, así que es fundamental la vinculación de entidades locales, como la Universidad de la Amazonía, y demás organizaciones comunitarias que puedan asegurar la continuidad del monitoreo a largo plazo.



Los datos también serán almacenados y compartidos públicamente a través de la Infraestructura Institucional de Datos e Información del Instituto Humboldt.

* Ver registros del proyecto en la lista de Enlaces de interés, al final del protocolo



Capítulo

03

Ruta para monitorear la biodiversidad con trampas cámara



¿PARA QUÉ TIPO DE ATRIBUTOS LAS TRAMPAS CÁMARA PUEDEN SER LA MEJOR HERRAMIENTA?



Tenga en cuenta que la trampa cámara es simplemente una herramienta. Muchas de las preguntas que se pueden responder con trampas cámara tienen que ver con atributos relacionados a nivel comunitario con la riqueza o diversidad de especies, o a nivel poblacional con la presencia/ausencia, ocupación del espacio, tamaño poblacional, densidad, selección de recursos, distribución, patrones de actividad e incluso comportamientos³⁵. Las trampas cámara también han permitido monitorear mamíferos pequeños³⁶ y mamíferos arbóreos³⁷.

Una vez se han respondido las preguntas estructurantes del programa o la iniciativa de monitoreo, se sugiere seguir una serie de pasos para ajustar el protocolo.



PROCEDIMIENTO 1.
Selección del área
de estudio



PROCEDIMIENTO 2.
Diseño y metodología
de monitoreo



PROCEDIMIENTO 3.
Pasos previos al uso
de las cámaras.



Las cámaras para monitorear biodiversidad son llamadas en inglés como camera trap y el proceso de monitorear biodiversidad con ellas es llamado camera trapping. Si bien, en español hay varias definiciones tales como cámaras remotas, cámaras de rastreo o cámaras trampa, nosotros nos referimos a ellas como trampa cámara, sin que esto implique una preferencia por uno u otro término, así como por el proceso de monitorear con estos dispositivos como fototrampeo.

PROCEDIMIENTO 4.

Instalación de las cámaras



PROCEDIMIENTO 5.

Recomendaciones luego de usar las cámaras



PROCEDIMIENTO 7.

Análisis de datos

Procedimiento 1.

Selección del área de estudio



El conocimiento de los actores e investigadores locales sobre su territorio y su biodiversidad es fundamental para la selección final de los sitios de muestreo.

Debes tener en cuenta:

- Preseleccionar el área de estudio a partir de las condiciones necesarias para cumplir el objetivo propuesto y el desarrollo de la metodología.
- Previo a cualquier acción en campo, se recomienda contactar a la comunidad para realizar una socialización del proyecto, los objetivos y dar a conocer al equipo de trabajo.
- Además, se pueden realizar reuniones con la comunidad local sobre el manejo de las trampas cámara y concertar con los actores locales la forma de acompañamiento al proceso.
- Definir en conjunto con los actores e investigadores locales la ubicación de los sitios definitivos para instalar las estaciones de muestreo.



Procedimiento 2.

Diseño y metodología de monitoreo



Existen varios protocolos a los cuales adherirse. Por ejemplo la red de monitoreo TEAM* ha desarrollado un protocolo específico que ha sido usado ampliamente.

1.

¿Cómo diseño el monitoreo?

Depende de los objetivos que se quieren alcanzar (si es un estudio puntual o un programa de monitoreo a largo plazo) y del tipo de pregunta de investigación que se quiere responder (inventario, ocupación, tamaño poblacional con captura-recaptura, densidad, actividad, comportamiento, etc.). Existen varios protocolos a los cuales adherirse. Por ejemplo la red de monitoreo TEAM* ha desarrollado un protocolo específico que ha sido usado ampliamente⁴².

Algunos principios fundamentales a tener en cuenta para definir cómo instalar las cámaras tienen que ver con el diseño estadístico, si es al azar, uniforme o estratificado⁴³; con la independencia de los datos y la distancia de separación entre cámara y cámara; la replicabilidad estadística, el tipo de covariables y la inferencia estadística⁴⁴.

Otros aspectos importantes en el diseño y antes de instalar las cámaras son la detección imperfecta⁴⁵⁻⁴⁷ y los falsos positivos⁴⁸. Tener en cuenta estos dos factores, y en particular la detección imperfecta (probabilidad de detección), asegura que los estimados y las inferencias que se hacen más adelante con los datos no estén sesgados⁴⁹⁻⁵².

* Mas información en el enlace <https://www.wildlifeinsights.org/team-network>



2.

¿Cuál es el número mínimo de cámaras que necesito para responder mi pregunta de investigación? ³⁴

El mínimo de cámaras necesario para responder la pregunta de investigación puede variar dependiendo de las condiciones espaciales del área de estudio y el tamaño de la muestra³⁸⁻⁴⁰, aunque se recomienda tantas como se pueda (compradas, prestadas, alquiladas) para obtener la mayor cantidad de datos posibles. **Como ejemplo, si el objetivo es monitorear el com-**

portamiento de mamíferos o aves, el mínimo de cámaras necesarias es una sola, pero si se quiere generar modelos de ocupación es necesario tener al menos 20.

Otros aspectos a considerar en el diseño son: la logística del sitio, los tiempos de instalación, el número de personas instalando las cámaras y la distancia mínima entre cámara y cámara para que los datos sean independientes. Si usando esta aproximación no es posible alcanzar el número mínimo de cámaras (compradas, alquiladas o prestadas), vale la pena repensar los objetivos del estudio.



3.

¿Cuál es la distancia mínima entre cámaras?

En territorios montañosos, recomendamos que la distancia mínima de separación entre las cámaras sea de 500 metros, mientras que en tierras bajas, el mínimo recomendado es de un kilómetro. Por ejemplo, en el proyecto de Agroforestería para la conservación se trabajó en un ecosistema de transición entre los Andes y la Amazonía, por lo cual se utilizó como distancia mínima un kilómetro. Esta distancia se seleccionó teniendo en cuenta las características del diseño del proyecto y también que este es un valor común en múltiples estudios.



4.

¿Cuánto es el tiempo mínimo que deben permanecer las cámaras?

El tiempo mínimo puede variar según las necesidades del monitoreo. Recomendamos entre 30 y 60 días continuos, ya que entre más tiempo, mayor probabilidad de registrar especies raras. Sin embargo, un tiempo excesivo dificulta considerar que la población sea cerrada (sin nacimientos, muertes, inmigración y emigración) durante el muestreo. Considerar que la población es abierta añade varios factores de complejidad en el análisis de los datos. En el caso del proyecto Agroforestería para la conservación, se decidió mantener el supuesto de población cerrada.



Capacitación en monitoreo a comunidades

Procedimiento 3.

Pasos previos al uso de las cámaras.

Antes de usar las trampas cámara es importante tener en cuenta una serie de preguntas que serán de utilidad:

¿Qué modelo de cámara debo comprar?

Si bien, las trampas cámara tienen un diseño común básico (Figura 3), compuesto de un sensor pasivo de calor y/o movimiento que activa una cámara digital, existe una gran variedad de modelos, marcas, fabricantes, distribuidores y precios. La calidad del sensor es fundamental para el funcionamiento de la cámara y este debe ser el factor decisivo a la hora de adquirir algún modelo, característica que mínimo debe tener 10 megapixeles de resolución. Se debe prestar particular atención al ángulo del área de detección, la distancia de detección y a la sensibilidad del sensor, así como a la velocidad de disparo de la cámara, el tipo de flash (blanco, infrarrojo o invisible), y también al tipo, número y duración de las baterías. Inclusive, hay que considerar que algunas cámaras producen algún tipo de ruido que perciben los animales⁴¹.

¿Cómo programo las cámaras?

Inicialmente se debe ajustar la fecha y la hora, de forma que aparezcan correctamente en la foto o video y tratar de ser redundante, programando la cámara para tomar varias fotos cada vez que un animal cruza en frente. Para ciertos modelos más avanzados o costosos, se ofrecen más posibilidades de control fino y ajuste, como, por ejemplo, sensibilidad al movimiento, asignar un nombre o código digital individual a cada cámara, controlar el número de fotos por evento, determinar la duración del video, variar la intensidad del flash, la apertura del diafragma, la velocidad de obturación, el tamaño del archivo, la resolución de la foto, entre otros.



Al final de esta publicación se encuentra el enlace de descarga de los formatos para el registro de la información en campo

Figura 3.

Explicación de las partes de la cámara trampa.



¿Cómo preparo la instalación?

Antes de ir a campo es necesario preparar todo el equipo, etiquetando cada cámara con un número o nombre único, y también, preferiblemente, las memorias con el mismo número. Cargue en el GPS las localizaciones de las posibles estaciones de monitoreo (de acuerdo con el diseño de muestreo propuesto) y una cuadricula con la ubicación esperada de localización de la cámara. Aunque

la selección del sitio final donde se instalaría la cámara se realiza en campo y puede variar del sitio propuesto y cargado al GPS. Prepare los formatos necesarios y verifique la batería de los diferentes equipos.

Además, se recomienda tener en cuenta el uso de cadenas o candados para evitar el robo de las cámaras, e inclusive, considerar la compra de seguros para los equipos.

Procedimiento 4.

Instalación de las cámaras

Algunas recomendaciones generales al instalar las trampas cámara son:



Revise la viabilidad de los lugares preliminares según el diseño.



En primera medida se recomienda que en el área de ubicación de la cámara trampa se identifique un sitio con indicios de presencia de fauna silvestre, por ejemplo, una senda, un rascadero o unas huellas. Esta selección se debe realizar procurando maximizar la probabilidad de detección de vertebrados terrestres. Para esto se tienen en cuenta las sendas, rastros y la disponibilidad de recursos (agua y alimento) de cada localidad. Posteriormente, es necesario identificar la posición donde será ubicada la cámara, de tal forma que se logre abarcar el sitio de paso de fauna identificado.



Sugerimos ubicar la cámara en sentido norte-sur o sur-norte y de esta manera evitar que la cámara en algún momento del día resulte inhabilitada por exceso de calor o luz directa del sol. Se requiere además tener en cuenta la dirección por donde se considera que pasarán los individuos para ubicar el equipo, de tal forma que la cámara trampa logre capturar una imagen de uno de los flancos del animal.



Posteriormente, requeriremos buscar un punto de anclaje para la cámara. Lo ideal es encontrar una estructura perpendicular al suelo (ojalá un árbol grande) que nos permita mantener el lente de la cámara paralelo al suelo y a una altura promedio de 45 cm del suelo (Figura 4). Además, debemos contemplar la distancia al sitio de paso de los individuos, en lo que recomendamos una distancia de al menos 2 metros, aunque esto puede variar de acuerdo con el modelo del equipo, el tamaño del animal objetivo y las condiciones del sitio, como inclinación o vegetación circundante.



Se recomienda verificar que los individuos sean completamente abarcados al pasar en frente de la cámara con una prueba de gateo (Figura 5), la cual se debe realizar antes de abandonar el sitio de instalación. Tenga en cuenta que este procedimiento puede ser muy sencillo, pero requiere de práctica y tiempo hasta estar completamente seguros de que la cámara quede correctamente instalada.



Luego de la instalación de la cámara en el sitio, es muy importante realizar nuevamente la revisión de programación y hacer la verificación de la fecha y hora, para lo cual la mejor opción es tomar una fotografía con la cámara ya instalada y verificar en otro dispositivo que la fotografía tenga la disposición deseada y la fecha y hora correctas.



En el sitio de instalación de la cámara se debe tomar un punto (promediado) con el GPS, para registrar las coordenadas de instalación (Figura 6). Además de las coordenadas, se debe llenar un registro que incluya la fecha, la hora, el instalador de la cámara, las características del sitio

donde se instaló y el número con el cual se etiquetó el equipo antes de ir a campo.



Así mismo, se recomienda en cada sitio de instalación, dejar registrado en una detección de la cámara una fotografía del investigador con una hoja que incluya la fecha y hora de instalación, así como las coordenadas del sitio. El uso de cebos y sustancias para atraer animales en el sitio de la cámara no es recomendado, a menos que tenga razones especiales para usarlos, como una especie muy particular y elusiva para detectar.



Tenga en cuenta para evitar el riesgo de robo de cámaras se puede involucrar a la comunidad en el estudio o usar cables de acero, cadenas, candados y cajas de metal. Ademas, algunos animales pueden atacar las cámaras, como por ejemplo osos, hormigas y termitas, así que tome precauciones al instalarlas cerca de las madrigueras de estas especies y, si es posible, tome precauciones para sellar todos los orificios por los cuales puedan entrar las hormigas y termitas.

Recomendaciones de la instalación de cámaras



Figura 5.

Prueba de Gateo.

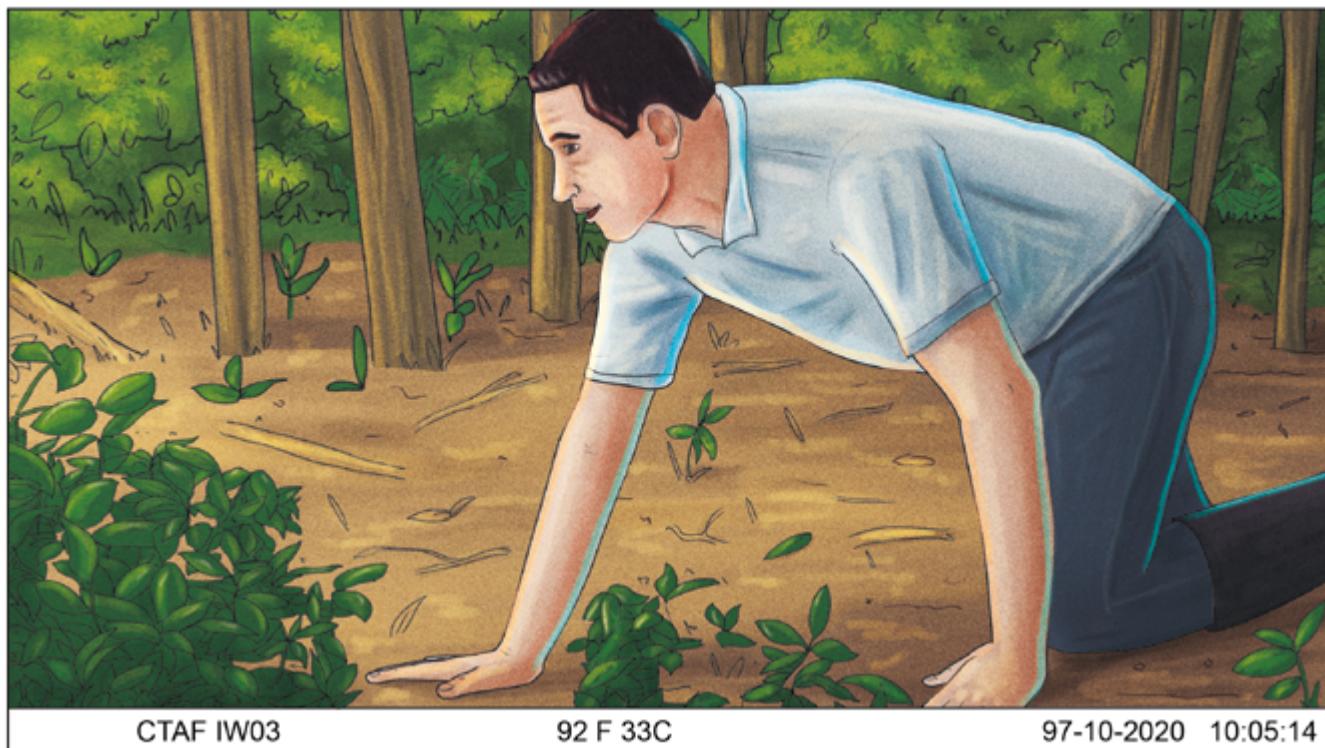


Figura 6.

Verificación de la fecha, la hora y localización de la cámara.



Procedimiento 5. Recomendaciones luego de usar las cámaras



Compartir los resultados preliminares con la comunidad, permite que los pobladores locales vean los beneficios del monitoreo y se interesen por conocer y cuidar la biodiversidad

Una vez cumplido el tiempo de monitoreo, se deben recoger las cámaras en cada uno de los sitios, proceso durante el cual se pueden cometer algunos errores. Por eso, antes de retirarla se recomienda:



Asegurarse de registrar en al menos una foto al investigador retirando la cámara.



No sacar la memoria de la cámara inmediatamente para evitar confusiones.

Luego de la recolección, la expectativa sobre las imágenes capturadas es alta, tanto para los investigadores como para la comunidad local, razón por la cual es importante generar un espacio de socialización inmediata de las imágenes con la comunidad y los investigadores, donde se presenten algunos resultados preliminares.



Proceso de retiro de las trampas cámara
con la comunidad



Procedimiento 6. Recomendaciones para el manejo de la información generada por las trampas cámara

Un reto importante al cual se enfrentan quienes usan las trampas cámara es el manejo de archivos (fotografías y videos) y el manejo de la información. Filtrar, organizar e identificar miles de fotografías manualmente puede ser una tarea abrumadora, por lo que se recomienda el uso de software que permita la lectura automática de las fechas y horas de las fotografías y posteriormente las almacena, junto con la identificación de la especie y la localidad en una base de datos compatible con programas como MS Access. De esta forma se pueden hacer búsquedas simples y rápidas, análisis sencillos y adicionalmente exportar los datos a otros programas para hacer análisis más sofisticados.

Figura 7.

Trabajo de revisión preliminar de las fotografías.

Por ejemplo, un típico estudio usando 20 trampas cámara funcionando continuamente durante un mes, e instaladas secuencialmente en 3 grupos hasta completar 60 puntos, generaron un poco más de 30,000 fotografías, de las cuales 1,537 imágenes correspondieron a 18 especies de mamíferos silvestres⁵³. Ese mismo diseño repetido durante cinco años, produjo varios cientos de miles de fotografías⁵⁴.

Basado en la experiencia de uso y limitando la funcionalidad solo al manejo de datos, se recomienda el programa Wild.ID, el cual fue desarrollado por la red de monitoreo TEAM bajo protocolos robustos de manejo y almacenamiento de datos³³. Este programa es tal vez uno de los más usados fuera de los Estados Unidos.

Otro aspecto fundamental en el proceso de construcción de la base de datos es asegurar la independencia de los registros fotográficos. Como ejemplo, en una secuencia de fotografías realizadas durante tres horas por una cámara trampa, se registró el mismo felino, el cual se quedó descansando en el sitio donde se colocó el dispositivo de monitoreo. Por lo tanto, surge la pregunta ¿para los fines de la investigación, cada foto es un registro? Es clave asegurar que cada observación realizada debe ser distinta y no debe estar influenciada por otras



THE NATURE CONSERVANCY



Paisaje del Bajo Caguan

observaciones, motivo por el cual se debe asegurar la independencia, que puede ser:

- Espacial, donde se controla la ubicación de los dispositivos pues los registros de trampas cámara muy cercanas pueden estar asociados entre sí.
- Temporal, donde se controla el tiempo y se quiere evitar que los registros consecutivos y sin un lapso significativo de tiempo se consideren distintos.

Como recomendación, para asegurar la independencia espacial de los registros se debe cumplir la distancia mínima sugerida en este protocolo. En el caso de la independencia temporal, se debe agrupar las fotos en eventos, que son períodos de tiempo que pueden ser días y hasta horas, en los cuales el registro de fotos consecutivas de dichos períodos de tiempo se considera como una misma observación. Hay que destacar que los programas para el manejo de los registros fotográficos de las trampas cámara permiten definir el tiempo necesario para el

cálculo de eventos, que se sugiere puede ser de un día.

Por último, normalmente cuando se diseña un estudio con trampas cámara hay un propósito bien particular, pero, una vez culminado el estudio y cumplido el objetivo original, existe la posibilidad de compartir y agregar datos de varios proyectos o regiones para comparar en escalas geográficas más amplias^{57,58} o responder otras preguntas a escala global^{59,60}. Se debe tener en cuenta que recientemente se han propuesto estándares mínimos para usar y compartir los datos de las trampas cámara⁵⁶. Adherirse a estos estándares facilitará compartir y almacenar datos en plataformas comunes, así como la interoperabilidad de la información para integrar diferentes iniciativas de muestreo.

Las plataformas para compartir los datos en la nube como Wildlife Insights y las posibilidades que presenta el procesamiento en la nube o *cloud computing* y la ciencia colaborativa, amplían y multiplican la utilidad de los datos de las trampas cámara, sacando los datos de los discos duros de las computadoras personales y proponiendo esque-



El uso de software que permita la lectura automática de las fechas y horas de las fotografías y posteriormente las almacena, permite hacer búsquedas simples y rápidas, análisis sencillos y adicionalmente exportar los datos a otros programas para hacer análisis más sofisticados.



 **Figura 8.**
Taller de Socialización.

mas de datos abiertos que permiten encontrar patrones que se comparten globalmente para responder preguntas de ecología, manejo y conservación a escala regional, nacional o global. El rápido cambio propiciado por la explosión de datos de trampas cámara, sumado a los repositorios de datos online, ofrece nuevas posibilidades de análisis automatizados a gran escala y en muy

corto tiempo, que pueden responder a los retos de los objetivos de desarrollo sostenible y las metas de conservación⁶¹. Una buena forma para comenzar a conocer cuales otros investigadores trabajan con trampas cámara, y para explorar posibilidades de compartir datos es unirse a iniciativas nacionales como la Red Colombiana de Fototrampeo.



¿CÓMO ESCOGER EL PROGRAMA PARA EL MANEJO Y SISTEMATIZACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS?



Hoy en día existen varios programas desarrollados para este fin, como por ejemplo Trapper, ViXeN, Aardwolf 2.0, eMammal, Camelot, digiKam, CamptrapR, Wild.ID y en Colombia Naira. La mayoría de estos programas son libres y de fuente abierta, sin embargo, a pesar de sus ventajas, algunos presentan varias limitaciones. Dentro de los aspectos a tener en cuenta al seleccionar un programa para manejar los datos de las trampas cámara están en la cantidad de fotografías que puede manejar, si permite manejar varios proyectos y/o usuarios con el mismo programa, la facilidad de manejo y la cantidad de documentación disponible.

Procedimiento 7. Análisis de datos

Dependiendo del grado del análisis, se requiere el apoyo de un especialista en análisis estadísticos, pero a continuación se resumen los estadísticos más comunes según las posibilidades de análisis con las que cuente, como las siguientes:

1.

Listados, inventarios

A partir de las fotografías, la información más elemental que se puede producir es listados e inventarios de especies presentes en las zonas de estudio.

2.

Índices de abundancia

Al tener en cuenta el número de registros para cada especie se puede calcular un índice de abundancia relativo o índice de frecuencia o de éxito de captura para cada una de las especies. Este índice de abundancia relativo (IAR) ⁶² es la manera más sencilla de analizar los datos y se puede calcular como una relación entre el número de registros independientes y el esfuerzo de muestreo; se recomienda hacerlo relativo a 100 para que sea comparable con otros sitios. El esfuerzo de muestreo se refiere al número acumulado de noches de muestreo, las cuales se obtienen mediante la diferencia entre el último y el primer día de muestreo. La fórmula para obtener el IAR es:

$$\text{IIAR} = \frac{\text{Número de registros independientes} * 100}{\text{Esfuerzo de muestreo (trampas cámara * noche)}}$$

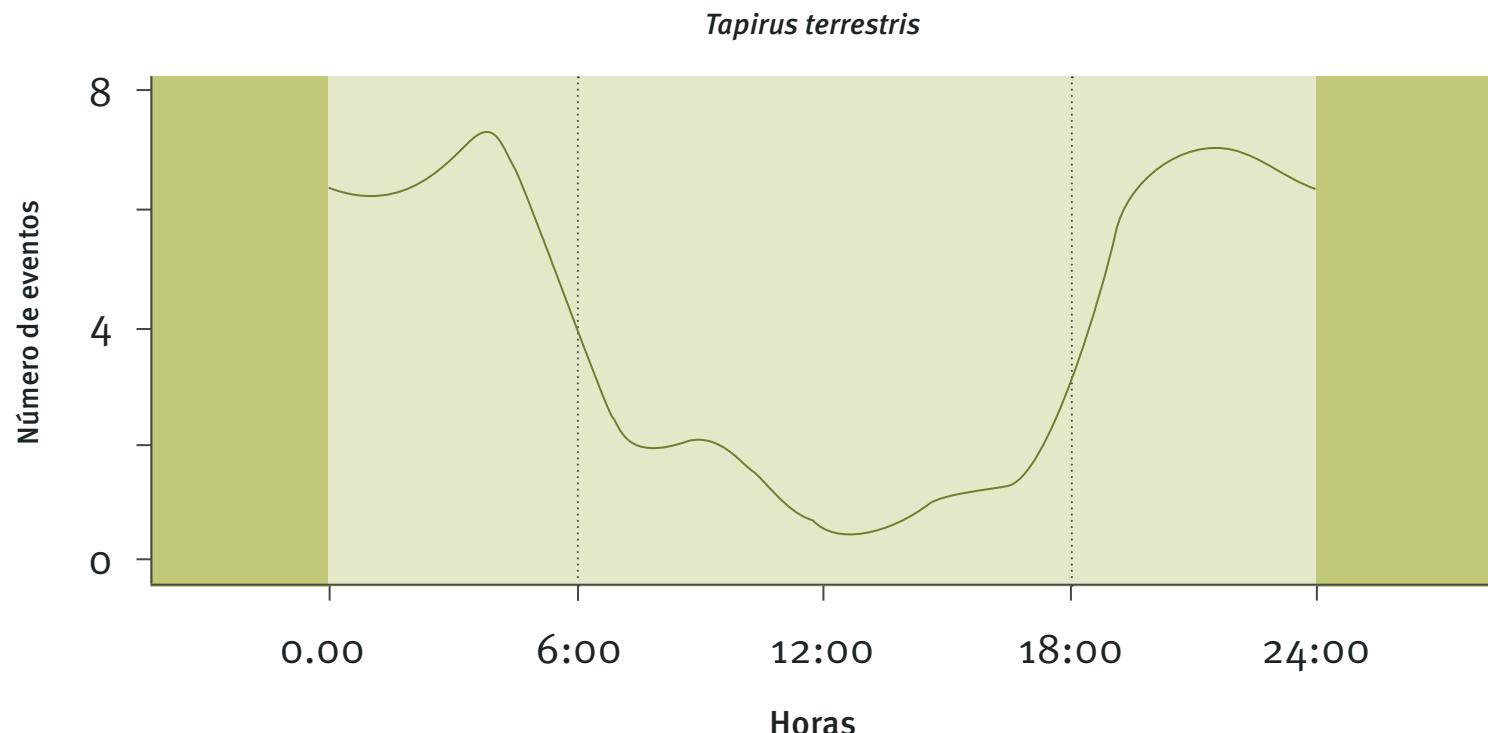


El índice de abundancia relativo es útil para describir las tasas de captura de las especies, bajo el supuesto de la detección perfecta para todas las especies. Para poder interpretarse como una medida indirecta de la abundancia de las poblaciones, se sugiere controlar aspectos en el diseño como el

uso del mismo modelo de cámaras y controlar todo aquello que pueda afectar la detectabilidad, como por ejemplo la cercanía a caminos. Se recomienda que el diseño y la asignación de sitios sea aleatoria, se asegure la independencia espacial entre los sitios y que no se usen atrayentes.^{63,64}.

Figura 9.

Patrones de actividad de la danta, basada en la frecuencia de eventos de avistamiento.



3.

Patrones de actividad


Este análisis es útil para comparar los patrones de actividad, por ejemplo entre machos y hembras, o entre predadores y presas.

Una forma muy usada de análisis de la información para algunas especies seleccionadas con suficientes registros es describir su patrón de actividad, resumiendo en las horas el número de eventos por especie (ver Figura 9). Se ha sugerido⁶⁸ que un ta-

maño de muestra de 20-25 observaciones permitirá caracterizar los patrones de actividad durante un periodo de 24 horas. Este análisis es útil para comparar los patrones de actividad, por ejemplo entre machos y hembras, o entre predadores y presas⁶⁹⁻⁷¹.

4.

Modelos de ocupación

Los datos de las trampas cámara son muy versátiles y se ajustan a la estructura de datos de muestreos repetidos en el tiempo, los cuales permiten incorporar el cálculo de la detección imperfecta para modelar la ocupación. Los modelos de ocupación son un paso natural en el análisis de los datos de fototrampeo. Para muchas especies, debido a sus condiciones raras o elusivas, obtener estimados de abundancia absoluta es metodológicamente más complicado. Para tales fines, se han propuesto los modelos de ocupación, los cuales además consideran que la detección de las especies es imperfecta^{31,50}. Los modelos de ocupación para una especie se han utilizado para inferir patrones de uso de hábitat y distribución a diferentes escalas espaciales^{65,66}. Mediante ellos se puede analizar de manera simultánea el proceso ecológico y el proceso de observación, lo cual corresponde a una aproximación jerárquica en el modelamiento^{60,67}. La mayoría de los estudios sobre la ocurrencia de especies y el modelado del hábitat suponen que las

especies se detectan perfectamente. Considerar la detección imperfecta mejora las inferencias sobre las relaciones de las especies y su hábitat⁶⁶.

La base conceptual de los modelos de ocupación de una especie y una temporada se fundamenta en la naturaleza jerárquica de dos procesos que influyen sobre la probabilidad de detección y los sitios ocupados por una especie objetivo en un área de muestreo determinado³¹. El proceso ecológico, que en este caso es la ocupación, es representado por la letra griega ψ (ψ). La ocupación es definida como la probabilidad de que un sitio o unidad de muestreo esté ocupado por la especie objetivo^{65,66}.

En este proceso se pueden dar dos escenarios, uno en el cual la unidad de muestreo sea ocupada por la especie con un valor de probabilidad ψ , y otro donde la especie no ocupa el sitio con probabilidad $1-\psi$. Este proceso es afectado a su vez por un proceso observacional denominado mediante la letra p , el cual hace referencia a la detección o no de la espe-



cie, dado que la especie objetivo ocupe el sitio. De manera lógica podemos asumir que si una especie no ocupa una unidad de muestreo, esta no pudo ser detectada. A pesar de ello, cuando una especie ocupa un lugar pueden darse dos situaciones: que la

especie fue detectada con probabilidad p , o no fue detectada con probabilidad $1-p$, lo cual hace referencia al proceso observacional.

Es posible trasladar el modelo conceptual a una notación de probabilidad de datos observados: considere la historia de detección (h) de una especie (x) procedente de una cámara trampa (i) que funcionó durante tres días (j); Entonces, si $h_i=101$, quiere decir que la especie es detectada durante el primer y el tercer día, pero no durante el segundo día. En este caso la especie ocupa el sitio, ya que fue detectada al menos durante una vez y en términos de probabilidad se describiría de la siguiente manera:

$$Pr = \psi * p_1 * (1-p_2) * p_3$$

No obstante, en el caso donde la especie no es detectada en ninguna ocasión ($h_i=000$) existen dos posibilidades, que la especie ocupe el sitio, pero no fue detectada o, por el contrario, que no ocupe el sitio, de tal forma que su probabilidad sería:

$$Pr = \psi * (1-p_1) * (1-p_2) * (1-p_3) + (1-\psi)$$

Adicionalmente, ambos procesos se pueden expresar de manera formal mediante sus funciones de probabilidad. En primer lugar, el proceso ecológico se puede expresar como una variable aleatoria de carácter

binario denotada como z_i , y que tendrá una distribución de probabilidad Bernoulli (probabilidad de presencia o ausencia en una oportunidad), así:

$$Z_i \sim \text{Bernoulli}(\psi_i)$$

En cuanto al proceso de detección, este también se define como una variable aleatoria de tipo Bernoulli, que se denota como y_{ij} , es decir la detección en la unidad i y el muestreo j que puede tomar valores binarios de 0 cuando no es detectado y 1 cuando es detectado³¹. Al integrar el proceso observacional obtenemos el producto de las dos variables aleatorias que explican cada proceso ($z_i p_{ij}$), expresado formalmente así:

$$y_{ij} | z_i \sim \text{Bernoulli}(z_i p_{ij})$$

También es posible modelar ambos procesos en función de covariables o factores, empleando una función logit-link como se representa en la siguiente ecuación:

$$\text{logit}(\psi_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_U x_{iU}$$

Donde la probabilidad de ocupación del sitio i está en función de un numero de covariables U asociadas al sitio i ($x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iU}$) y donde β_0 es el valor del intercepto de la curva de regresión logística, permitiendo que la probabilidad de ocupación ahora pueda variar entre sitios⁶⁵. De manera similar, el parámetro de detección puede modelarse en función de covariables, con la distinción de que estas pueden variar en cada sitio y en cada ocasión de muestreo.



5.

Uso de covariables.

Una de las ventajas de los modelos de ocupación es que la probabilidad de ocupación y detección (ψ y p) pueden variar en función de un determinado conjunto de covariables. Estas covariables pueden ser de dos tipos, aquellas que cambian en función de cada sitio (covariables de sitio), como por ejemplo el tipo de hábitat, la elevación o la distancia a algún punto focal; o aquellas que son dinámicas entre cada ocasión de muestreo (covariables de observación), como las condiciones climáticas del día o la fase lunar. Incluir covariables es muy importante debido a que los modelos de ocupación permiten hacer procedimientos de selección de modelos para determinar qué covariable es la más importante para explicar la ocupación y la detección^{39,65}.

Es muy recomendable seguir hipótesis planteadas *a priori* para la selección y combinación de covariables asociadas a cada proceso, basándose en el conocimiento sobre la ecología de la especie, por ejemplo: producción primaria del hábitat, pendiente del sitio, tipo de hábitat, paisaje, presencia

humana, entre otras variables de sitio que pueden explicar la ocupación. En el caso del proceso observacional, las covariables seleccionadas son aquellas que tienen alguna influencia sobre la capacidad de detectar o no a la especie, como por ejemplo: la lluvia diaria, la fase lunar, entre otras; o variables de sitio como el modelo de la cámara usada, la altura de instalación de la cámara o la cercanía a caminos. Es posible también que una covariable pueda influir en ambos procesos, pero en cualquier caso es necesario argumentar con claridad el motivo por el cual se incluye cada una de las covariables asociadas a cada proceso.

En caso tal que se cuente con más de una temporada, o si se realiza el muestreo de forma regular durante varios años, se puede usar un modelo dinámico que contempla dos parámetros más (la probabilidad de extinción local y la probabilidad de re-colonización). Varios softwares ayudan en el proceso de construcción de modelos de ocupación, entre ellos están el programa Presence y los paquetes (unmarked, wiqid y RPresence) del lenguaje estadístico R.



Es muy recomendable seguir hipótesis planteadas *a priori* para la selección y combinación de covariables asociadas a cada proceso, basándose en el conocimiento sobre la ecología de la especie.



Socialización de resultados a las comunidades

Literatura citada

1. Wilson, E. O. The current state of biological diversity. *Biodiversity* **521**, 3–18 (1988).
2. Naeem, S., Chazdon, R., Duffy, J. E., Prager, C. & Worm, B. Biodiversity and human well-being: an essential link for sustainable development. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **283**, 20162091 (2016).
3. Wilson, E. O. On the future of conservation biology. *Conservation Biology* vol. 14 1–3 (2000).
4. Butchart, S. H. M. *et al.* Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science* **328**, 1164–8 (2010).
5. Ceballos, G. *et al.* Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances* **1**, e1400253–e1400253 (2015).
6. Malhi, Y. *et al.* Megafauna and ecosystem function from the Pleistocene to the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **113**, 838–46 (2016).
7. Dirzo, R. *et al.* Defaunation in the Anthropocene. *Science* **345**, 401–406 (2014).
8. Lewis, S. L. & Maslin, M. A. Defining the Anthropocene. *Nature* **519**, 171–180 (2015).
9. Wilson, K. A. *et al.* Conservation Research Is Not Happening Where It Is Most Needed. *PLoS biology* **14**, e1002413 (2016).
10. Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S. & Possingham, H. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* vol. 114 369–386 (2006).
11. Sánchez-Cuervo, A. M., Aide, T. M., Clark, M. L. & Etter, A. Land cover change in Colombia: surprising forest recovery trends between 2001 and 2010. *PloS one* **7**, e43943 (2012).
12. Armenteras, D., Rodríguez, N. & Retana, J. Landscape Dynamics in Northwestern Amazonia: An Assessment of Pastures, Fire and Illicit Crops as Drivers of Tropical Deforestation. *PloS one* **8**, e54310 (2013).
13. Dávalos, L. M., Sanchez, K. M. & Armenteras, D. Deforestation and Coca Cultivation Rooted in Twentieth-Century Development Projects. *BioScience* **66**, 974–982 (2016).

- 14.** BON, G. *Global Biodiversity Change Indicators. Version 1.2. Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network Secretariat.* (GEO BON, 2015).
- 15.** Kissling, W. D. *et al.* Towards global interoperability for supporting biodiversity research on essential biodiversity variables (EBVs). *Biodiversity* **16**, 99–107 (2015).
- 16.** Pettorelli, N. *et al.* Framing the concept of satellite remote sensing essential biodiversity variables: challenges and future directions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* **2**, 122–131 (2016).
- 17.** Stephenson, P. J. *et al.* Overcoming the challenges to conservation monitoring: integrating data from in-situ reporting and global data sets to measure impact and performance. *Biodiversity* **16**, 68–85 (2015).
- 18.** Bush, A. *et al.* Connecting Earth observation to high-throughput biodiversity data. *Nature Ecology & Evolution* **1**, 0176 (2017).
- 19.** Likens, G. & Lindenmayer, D. *Effective ecological monitoring.* (CSIRO publishing, 2018).
- 20.** de Thoisy, B. *et al.* Population history, phylogeography, and conservation genetics of the last Neotropical mega-herbivore, the lowland tapir (*Tapirus terrestris*). *BMC Evolutionary Biology* vol. 10 278 (2010). Skidmore, A. K. *et al.* Environmental science: Agree on biodiversity metrics to track from space. *Nature* **523**, 403–405 (2015).
- 21.** Constantino, P. A. L. & Cruz, A. T. *Monitoreo de la biodiversidad en América Latina: Panorama y recomendaciones para estructurar una iniciativa.* (Editorial Gknoronha, 2016).
- 22.** McComb, Brenda. *Monitoring Animal Populations and Their Habitats : a Practitioner's Guide.* (CRC Press, 2010).
- 23.** Kasecker, T. *et al.* *Sistematização de iniciativas de monitoramento da biodiversidade in situin situ com foco em áreas protegidas na América Latina.* (Relatório final, Conservação Internacional., 2014).
- 24.** Buckland, S. T. & Johnston, A. Monitoring the biodiversity of regions: Key principles and possible pitfalls. *Biological Conservation* **214**, 23–34 (2017).
- 25.** Buxton, R. T., Lendrum, P. E., Crooks, K. R. & Wittemyer, G. Pairing camera traps and acoustic recorders to monitor the ecological impact of human disturbance. *Global Ecology and Conservation* **16**, e00493 (2018).
- 26.** Buxton, R. T. *et al.* Efficacy of extracting indices from large-scale acoustic recordings to monitor biodiversity. *Conservation Biology* (2018) doi:10.1111/cobi.13119.
- 27.** Pettorelli, N. *et al.* Satellite remote sensing of ecosystem functions: opportunities, challenges and way forward. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* **4**, 71–93 (2018).



Espacio de socialización del monitoreo con la comunidad y los investigadores

28. Latham, J. E., Trivedi, M., Amin, R. & D'Arcy, L. A Sourcebook of Biodiversity Monitoring for REDD+. (Zoological Society of London., 2014).
29. Dickson, B. & Kapos, V. Biodiversity monitoring for REDD+. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **4**, 717–725 (2012).
30. MacKenzie, D. I. *et al.* Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology* **83**, 2248–2255 (2002).
31. Ahumada, J. A., Hurtado, J. & Lizcano, D. Monitoring the Status and Trends of Tropical Forest Terrestrial Vertebrate Communities from Camera Trap Data: A Tool for Conservation. *PLoS ONE* **8**, e73707 (2013).
32. Fegraus, E. H. *et al.* Data acquisition and management software for camera trap data: A case study from the TEAM Network. *Ecological Informatics* **6**, 345–353 (2011).
33. Burton, A. C. *et al.* Wildlife camera trapping: a review and recommendations for linking surveys to ecological processes. *Journal of Applied Ecology* **52**, 675–685 (2015).
34. Caravaggi, A. *et al.* A review of camera trapping for conservation behaviour research. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* **3**, 109–122 (2017).
35. Glen, A. S., Cockburn, S., Nichols, M., Ekanayake, J. & Warburton, B. Optimising Camera Traps for Monitoring Small Mammals. *PLoS ONE* **8**, e67940 (2013).

- 36.** Gregory, T., Carrasco Rueda, F., Deichmann, J., Kolowski, J. & Alonso, A. Arboreal camera trapping: taking a proven method to new heights. *Methods in Ecology and Evolution* **5**, 443–451 (2014).
- 37.** Meek, P. D. *et al.* Recommended guiding principles for reporting on camera trapping research. *Biodiversity and Conservation* **23**, 2321–2343 (2014).
- 38.** Royle, J. A. & Dorazio, R. M. *Hierarchical modeling and inference in ecology: the analysis of data from populations, metapopulations and communities*. (Academic Press, 2008).
- 39.** Kéry, M. & Royle, J. A. *Applied Hierarchical Modeling in Ecology: Analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS: Volume 1: Prelude and Static Models*. (Academic Press, 2015).
- 40.** Meek, P. D. *et al.* Camera traps can be heard and seen by animals. *PloS one* **9**, e110832 (2014).
- 41.** TEAM, N. *Terrestrial vertebrate protocol implementation manual, v. 3.1*. (Centre for applied biodiversity science, Conservation International, 2011).
- 42.** Cusack, J. J. *et al.* Random versus Game Trail-Based Camera Trap Placement Strategy for Monitoring Terrestrial Mammal Communities. *PLOS ONE* **10**, e0126373 (2015).
- 43.** Legendre, P. *et al.* The consequences of spatial structure for the design and analysis of ecological field surveys. *Ecography* **25**, 601–615 (2002).
- 44.** MacKenzie, D. I. & Royle, J. A. Designing occupancy studies: general advice and allocating survey effort. *Journal of Applied Ecology* **42**, 1105–1114 (2005).
- 45.** Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J. J., MacKenzie, D. I., Wintle, B. A. & McCarthy, M. A. Ignoring imperfect detection in biological surveys is dangerous: a response to ‘fitting and interpreting occupancy models’. *PloS one* **9**, e99571 (2014).
- 46.** Iknayan, K. J., Tingley, M. W., Furnas, B. J. & Beissinger, S. R. Detecting diversity: emerging methods to estimate species diversity. *Trends in ecology & evolution* **29**, 97–106 (2014).
- 47.** Chambert, T., Miller, D. A. W. & Nichols, J. D. Modeling false positive detections in species occurrence data under different study designs. *Ecology* **96**, 332–339 (2015).
- 48.** Guillera-Arroita, G., Ridout, M. S. & Morgan, B. J. T. Design of occupancy studies with imperfect detection. *Methods in Ecology and Evolution* **1**, 131–139 (2010).
- 49.** Royle, J. A., Nichols, J. D. & Kéry, M. Modelling occurrence and abundance of species when detection is imperfect. *Oikos* **110**, 353–359 (2005).
- 50.** Dorazio, R. M. Accounting for imperfect detection and survey bias in statistical analysis of presence-only data. *Global Ecology and Biogeography* **23**, 1472–1484 (2014).

- 51.** Sollmann, R., Mohamed, A., Samejima, H. & Wilting, A. Risky business or simple solution – Relative abundance indices from camera-trapping. *Biological Conservation* **159**, 405–412 (2013).
- 52.** Cervera, L. *et al.* A camera trap assessment of terrestrial mammals in Machalilla National Park, western Ecuador. *Check List* **12**, 1868 (2016).
- 53.** Ahumada, J. A., Hurtado, J. & Lizcano, D. Monitoring the status and trends of tropical forest terrestrial vertebrate communities from camera trap data: a tool for conservation. *PloS one* **8**, e73707 (2013).
- 54.** Beaudrot, L. *et al.* Standardized assessment of biodiversity trends in tropical forest protected areas: The end is not in sight. *PLOS Biology* **14**, e1002357 (2016).
- 55.** Forrester, T. *et al.* An Open Standard for Camera Trap Data. *Biodiversity Data Journal* **4**, e10197 (2016).
- 56.** Schank, C. J. *et al.* Using a novel model approach to assess the distribution and conservation status of the endangered Baird's tapir. *Diversity and Distributions* **23**, 1459–1471 (2017).
- 57.** Lima, F. *et al.* ATLANTIC-CAMTRAPS: a dataset of medium and large terrestrial mammal communities in the Atlantic Forest of South America. *Ecology* **98**, 2979–2979 (2017).
- 58.** Ahumada, J. A. *et al.* Community structure and diversity of tropical forest mammals: data from a global camera trap network. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* **366**, 2703–2711 (2011).
- 59.** Steenweg, R. *et al.* Scaling-up camera traps: monitoring the planet's biodiversity with networks of remote sensors. *Frontiers in Ecology and the Environment* **15**, 26–34 (2017).
- 60.** Kissling, W. D. *et al.* Building essential biodiversity variables (EBVs) of species distribution and abundance at a global scale. *Biological Reviews* **93**, 600–625 (2018).
- 61.** O'Brien, T. G. Abundance, density and relative abundance: a conceptual framework. in *Camera traps in animal ecology* 71–96 (Springer, 2011).
- 62.** Wearn, O. R. & Glover-Kapfer, P. *Camera-trapping for conservation: a guide to best-practices*. (WWF Conservation Technology Series 1(1). WWF-UK, Woking, United Kingdom., 2017).
- 63.** Glover-Kapfer, P., Soto-Navarro, C. A. & Wearn, O. R. Camera-trapping version 3.0: current constraints and future priorities for development. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* **5**, 209–223 (2019).
- 64.** Kery, M. & Royle, J. A. *Applied Hierarchical Modeling in Ecology: Analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS: Volume 1:Prelude and Static Models*. (Academic Press, 2016).

- 65.** MacKenzie, D. I., Nichols, J. D. & Hines, J. E. *Occupancy Estimation and Modeling*. (Elsevier, 2018). doi:10.1016/C2012-0-01164-7.
- 66.** Burton, A. C. *et al.* Wildlife camera trapping: a review and recommendations for linking surveys to ecological processes. *Journal of Applied Ecology* **52**, 675–685 (2015).
- 67.** Ridout, M. S. & Linkie, M. Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* **14**, 322–337 (2009).
- 68.** Cruz, P., Paviolo, A., Bó, R. F., Thompson, J. J. & Di Bitetti, M. S. Daily activity patterns and habitat use of the lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in the Atlantic Forest. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde* **79**, 376–383 (2014).
- 69.** Ferreguetti, Á. C., Tomás, W. M. & Bergallo, H. G. Density, occupancy, and activity pattern of two sympatric deer (*Mazama*) in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of Mammalogy* gyv132 (2015).
- 70.** Tobler, M. W., Carrillo-Percastegui, S. E. & Powell, G. Habitat use, activity patterns and use of mineral licks by five species of ungulate in south-eastern Peru. *Journal of Tropical Ecology* **25**, 261–270 (2009).



Paisaje del Bajo Caguan

Enlaces de interés



CONVENIO SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA (CDB)

<https://www.cbd.int/>



BIODIVERSITY INDICATORS PARTNERSHIP IPB

[http://www.
bipindicators.net/](http://www.bipindicators.net/)



METAS AICHI.DIVERSIDAD BIOLÓGICA (CDB)

[https://www.cbd.int/sp/
targets/default.shtml](https://www.cbd.int/sp/targets/default.shtml)



GEO BON

<http://geobon.org/>



PLATAFORMA INTERGUBERNAMENTAL SOBRE BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (IPBES)

<http://www.ipbes.net>



PROGRAMA WILD.ID

[https://github.com/
ConservationInternational/Wild.ID](https://github.com/ConservationInternational/Wild.ID)



GRUPO DE ESPECIALISTAS DE MONITOREO DE ESPECIES DE LA IUCN

<http://www.speciesmonitoring.org>



RECOMENDACIONES ADICIONALES PARA USAR TRAMPAS CAMARA:

[https://mammalogynotes.org/
ojs/index.php/mn/article/
view/104](https://mammalogynotes.org/ojs/index.php/mn/article/view/104)



**LAS PLATAFORMAS PARA
COMPARTIR LOS DATOS EN
LA NUBE COMO WILDLIFE
INSIGHTS**

<https://www.wildlifeinsights.org>



HUELLA ESPACIAL HUMANA

[http://reporte.humboldt.org.co/
biodiversidad/2018/cap2/206/](http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2018/cap2/206/)



**RED COLOMBIANA DE
FOTOTRAMPEO**

<https://redfototrampeo.netlify.app/>



**INFRAESTRUCTURA
INSTITUCIONAL DE DATOS**

[http://i2d.humboldt.org.co/ceiba/resource.
do?r=rrbb_caqueta_animalia_
fototrampeo_2020](http://i2d.humboldt.org.co/ceiba/resource/do?r=rrbb_caqueta_animalia_fototrampeo_2020)



EL PROGRAMA ESTADÍSTICO R

<https://cran.r-project.org/>

**Encuentra este documento y sus
anexos en:**



**TUTORIAL PARA ENTENDER LAS
SIMULACIONES Y EL MODELO
BÁSICO DE OCUPACIÓN**

[https://dlizcano.github.io/
IntroOccuBook/index.html](https://dlizcano.github.io/IntroOccuBook/index.html)



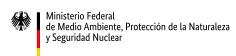
Protocolo de
**Monitoreo de
Biodiversidad**



Implementado por:



Fomentado por el:



en virtud de una resolución del Parlamento
de la República Federal de Alemania

Con el apoyo de:

