



PROTOSCOLOS PARA EL MONITOREO Y MANEJO DE LA FAUNA SILVESTRE (VOLUMEN I)

Pedro Mayor, Alejandro Meléndez Herrada, Fernando Xicoténcatl Plata Pérez, Pedro Pérez Peña, Carlos I. Piña y Melina S. Simoncini



Este libro ha sido financiado en parte por la Fundación Gordon and Betty Moore Foundation, a través del proyecto GBMF9258 a Fundación Natura.

GORDON AND BETTY
MOORE
FOUNDATION



© Comfauna

Protocolos para el monitoreo y manejo de la fauna silvestre (volumen I)

Fotografías

Pedro Mayor, Alejandro Meléndez Herrada, Fernando Xicoténcatl Plata Pérez,
Pedro Pérez Peña, Carlos I. Piña y Melina S. Simoncini

Diagramación y diseño

María Isabel López Reyes

Edición

Claudia Campos Rozo

1ra edición, marzo de 2022

ISBN: 978-958-8753-83-6

Bogotá, Colombia

PROTOSLOS PARA EL MONITOREO Y MANEJO DE LA FAUNA SILVESTRE (VOLUMEN I)

Autores:

Pedro Mayor, Alejandro Meléndez Herrada, Fernando Xicoténcatl Plata Pérez,
Pedro Pérez Peña, Carlos I. Piña y Melina S. Simoncini

Prólogo

La Comunidad de Manejo de Fauna Silvestre en la Amazonía y en Latinoamérica (COMFAUNA) es una comunidad sin fines de lucro, conformada por estudiantes, profesionales, personas locales, indígenas y otros grupos humanos que creen en la necesidad de implementar sistemas multiculturales y multidisciplinarios que promuevan el manejo sostenible de la fauna silvestre, la investigación científica y el empoderamiento local para reforzar el uso sostenible, la conservación de la fauna silvestre, mejorar la calidad de vida de comunidades locales e incidir en las políticas públicas en Latinoamérica.

Desde 1992, COMFAUNA ha promovido el intercambio de saberes, debates, discusiones, y el fortalecimiento de capacidades y ajuste de metodologías. Estos espacios de diálogo han sido claves para mejorar el manejo la fauna silvestre y la conservación de la diversidad biológica y cultural en Latinoamérica. Uno de los grandes retos a los que nos enfrentamos antes de implementar estrategias de manejo de fauna consiste en la capacidad de comprender el escenario donde queremos actuar. Para ello es necesario aplicar metodologías que nos permitan describir biológica, ecológica y socio-culturalmente el área de acción.

Desde COMFAUNA queremos seguir compartiendo experiencias e ideas que pueden ayudar a mejorar la generación de conocimiento. La estandarización de

metodologías de monitoreo, a través de protocolos metodológicos, permitirá desarrollar información comparable entre áreas y a través del tiempo, y, además, permitirá mejorar nuestra visión a una escala geográfica más amplia, la suma de esfuerzos locales nos puede acercar a la comprensión del escenario regional, nunca olvidando las características genuinas locales.

Con esta finalidad aquí les presentamos el primer volumen de la colección **PROTOS PARA EL MONITOREO Y MANEJO DE LA FAUNA SILVESTRE**. En este libro se presentan los primeros seis protocolos donde se discuten metodologías concretas, como el uso de cámaras trampa, un sistema participativo de colecta biológica, el uso de drones para el monitoreo de fauna silvestre y metodologías para el estudio fisicoquímico y organoléptico de carne y subproductos de reptiles. Además, se incluyen dos trabajos con un enfoque más integral que describen un conjunto de metodologías dirigidas a mejorar el monitoreo de aves silvestres y garantizar el uso sostenible de carne de origen silvestre.

Con este libro COMFAUNA pretende mejorar la producción de informaciones útiles para el uso de la biodiversidad y que permitan fortalecer argumentos políticos que mejoren el uso sostenible de la misma.

Esperamos que sea útil para todos ustedes.

Pedro Mayor
Presidente de COMFAUNA

Índice

Colecta de muestras biológicas de fauna cinegética en comunidades rurales	6
Protocolo de obtención de imágenes para detección de individuos mediante vehículos aéreos no tripulados.....	37
Caracterización y aprovechamiento de carne y grasa de reptiles provenientes de programas de manejo sustentable	57
Muestreo de poblaciones de fauna silvestre mediante cámaras fotográficas sensibles al movimiento a distancia (cámaras trampa).....	82
Monitoreo de aves silvestres: una perspectiva general de las técnicas usadas	113
Uso sostenible y comercio legal de carne silvestre.....	151

Colecta de muestras biológicas de fauna cinegética en comunidades rurales

Pedro Mayor^{a,b,c,d}, Hani R. El Bizri^{c,e,f,g}

Resumen

El monitoreo de poblaciones de fauna es uno de los componentes principales en proyectos de conservación, ya que permite evaluar el estado de las poblaciones silvestres y mejorar la base científica para la toma de decisiones sobre su manejo. El material biológico procedente de la fauna nos proporciona información valiosa sobre todas las funciones fisiológicas, y nos permite mejorar el conocimiento ecológico y sanitario acerca de ella. Este trabajo describe una metodología alternativa de colecta oportunista de ese tipo de material, procedente de ejemplares abatidos por cazadores locales de subsistencia, como herramienta de obtención de indicadores poblacionales y monitoreo de la fauna silvestre. Además, propone una colecta racional, legal y coordinada que aproveche las presas cazadas por pobladores locales con fines de autoconsumo, y que incluya el uso de la mayor parte de los despojos: órganos torácicos y abdominales, cráneo u otros huesos del esqueleto, y muestras de sangre y otros fluidos corporales. Además, se exponen indicaciones para mejorar la calidad de la colecta de dicho material dependiendo de la finalidad de los estudios, ya sean anatómicos, forenses, sanitarios, toxicológicos, reproductivos, de ecología alimentaria y/o de estructura de edades. Este material biológico permite expandir la comprensión acerca de los procesos fisiológicos, ecológicos y comportamentales que suceden en las poblaciones silvestres de fauna, los impactos orgánicos de las actividades antrópicas y su función en la transmisión de enfermedades zoonóticas. La enorme amplitud de disciplinas involucradas nos enfrenta al reto de trabajar multidisciplinariamente con profesionales de diversos ámbitos del conocimiento.

Palabras clave: Monitoreo, fauna de caza, manejo participativo, reproducción, necropsia, medicina de la conservación

^a Departamento de Sanidad y de Anatomía Animales, Facultad de Veterinaria, Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), Barcelona, España.

^b Museo de Culturas Indígenas Amazónicas, Iquitos, Loreto, Perú.

^c ComFauna, Comunidad de Manejo de Fauna Silvestre en la Amazonia y en Latinoamérica, Iquitos, Perú.

^d Postgraduate Program in Animal Health and Production in Amazonia (PPGSPAA), Federal Rural University of the Amazon (UFRA), Belém, PA, Brasil.

^e Department of Natural Sciences, Manchester Metropolitan University, Oxford Road, Manchester, United Kingdom.

^f Rede de Pesquisa para Estudos sobre Diversidade, Conservação e Uso da Fauna na Amazônia (REDEFAUNA), Manaus, Amazonas - Brasil.

^g Mamirauá Sustainable Development Institute (IDSM), Tefé, AM, Brasil.

Autor de correspondencia: Pedro Mayor. mayorpedro@hotmail.com; pedrogines.mayor@uab.cat

Coleta de amostras biológicas da fauna silvestre caçada em comunidades rurais

Resumo

O monitoramento das populações de fauna é um dos principais componentes de projetos de conservação, pois permite avaliar o estado das populações silvestres e aprimorar a base científica para a tomada de decisões sobre seu manejo. O material biológico de animais silvestres pode nos fornecer informações muito valiosas sobre as funções fisiológicas e nos permite melhorar o conhecimento ecológico e sanitário sobre a fauna. Este trabalho descreve uma metodologia alternativa para coleta oportunista de material biológico de indivíduos mortos por caçadores locais de subsistência como ferramenta para obtenção de indicadores populacionais e monitoramento da fauna silvestre. Neste trabalho, é proposta uma coleta racional, legal e coordenada que utiliza as presas caçadas pelos habitantes locais para fins de autoconsumo, e que inclui o aproveitamento da maior parte das vísceras: órgãos torácicos e abdominais, crânio ou outros ossos esqueléticos, e amostras de sangue e outros fluidos corporais. Além disso, são apresentadas indicações para melhorar a qualidade da coleta do referido material em função da finalidade dos estudos, sejam eles anatômicos, forenses, sanitários, toxicológicos, reprodutivos, de ecologia alimentar e de estrutura etária. Este material biológico irá melhorar a compreensão dos processos fisiológicos, ecológicos e comportamentais que ocorrem em populações silvestres, os impactos orgânicos das atividades antrópicas, e o papel da fauna transmissão de doenças zoonóticas. A enorme abrangência das disciplinas envolvidas em estudos relacionados a essas coletas nos confronta com o desafio de trabalhar de forma multidisciplinar com profissionais de diversas áreas do conhecimento.

Palavras chave: Monitoramento, fauna de caça, manejo participativo, reprodução, necropsia, medicina da conservação

Collection of biological samples from wildlife hunted in rural communities

Abstract

The monitoring of wildlife is one of the main components of conservation projects, since it allows assessing population status and provides the scientific basis for decision-making on wildlife management. Biological samples from wild animals can yield valuable information on species' physiological functions and improve the ecological and sanitary knowledge about wild species. This document offers an alternative methodology for the opportunistic collection of biological materials from individuals killed by local subsistence hunters, as a means to obtain population indicators and monitor wildlife populations. Here we propose a rational, legal and coordinated collection that includes the analysis of several parts of the viscera of the preys hunted by local inhabitants for purposes of wild meat consumption: thoracic and abdominal organs, skull or other skeletal bones, and blood and other body fluids. Furthermore, this document presents guidelines to improve the quality of the collection of the referred material in function of the goals of the research, whether to analyze anatomical, forensic, sanitary, toxicological, reproductive, dietary or age structure of the population. This biological material will help understand physiological, ecological and behavioral processes that occur in wild populations, the impacts of anthropic activities, and the role of wildlife in transmitting zoonotic diseases. The wide range of disciplines involved in potential studies related to this collection shows the importance of working in a multidisciplinary way with professionals from different fields.

Key words: Monitoring, game animals, participatory management, reproduction, necropsy, conservation medicine

Introducción

La mayor parte de las sociedades humanas que viven en el bosque húmedo tropical aún dependen de la caza de subsistencia como fuente de proteína animal y de ingresos económicos complementarios (van Vliet & Nasi, 2008; van Holt *et al.*, 2010; El Bizri *et al.*, 2020). Sin embargo, en muchas partes del mundo, la caza ha sido considerada una de las causas del declive de las poblaciones de fauna silvestre, junto con otras, como el cambio de uso del suelo, el cambio climático, la contaminación por metales pesados y otros productos tóxicos, y el desarrollo de infraestructuras (Robinson & Bennett, 2000; de Thoisy *et al.*, 2005; Zapata-Ríos *et al.*, 2009).

Además, en la actualidad, la irrupción de la pandemia causada por el virus SARS-CoV-2 está cambiando la percepción de la fauna silvestre y su uso. La controversia causada por el origen zoonótico de la pandemia (Zang *et al.*, 2020) y el miedo generado en la población mundial exigen un mayor conocimiento sobre la participación que la fauna silvestre puede tener como hospedador de enfermedades infecto-contagiosas.

Se considera que en América Latina el consumo de animales silvestres es muy importante, pero existe poca información acerca de esta situación. Las estimaciones que hay son muy precarias y determinan un consumo rural anual de entre 9 y 23 millones de animales silvestres en toda la Amazonía brasileña (Peres, 2000), con 10.691 toneladas

solo en el estado Amazonas de Brasil (Bizri *et al.*, 2020), y de 113.000 animales en la Amazonía peruana (Bodmer & Lozano, 2001). Las decisiones sobre el consumo de fauna silvestre son controvertidas porque en la actualidad este es considerado como una actividad no sostenible y de alto riesgo sanitario. Sin embargo, su prohibición o restricción podría traer efectos colaterales injustos e ineficaces, ya que la carne silvestre es una fuente principal de alimento para millones de personas en todo el mundo.

La capacidad de tomar decisiones sobre el manejo de fauna depende de la calidad de la información disponible, tanto antropológica como biológica. La información biológica del recurso faunístico que es aprovechado por las comunidades humanas nos ayuda a mejorar la comprensión de la capacidad de recuperación de las diferentes especies y del riesgo sanitario que puede suponer su consumo. La disponibilidad del material biológico apropiado para coleccionar depende de la actividad en la que los animales han sido usados. Por ejemplo, cada animal consumido ha supuesto una oportunidad para mejorar la comprensión de esa especie y del entorno en el que se encuentra. La principal fuente biológica de información no se encuentra en la carne, sino que está en los órganos torácicos y abdominales, que suelen ser descartados. Así, los órganos del aparato digestivo nos permiten entender la ecología alimentaria del animal; los órganos del aparato genital, la capacidad reproductiva; los fluidos corporales, especialmente la sangre, y la presencia de lesiones en órganos, el contacto con patógenos. Aunque el estudio de un individuo

nos aporta información puntual, el estudio de un conjunto de varios individuos nos proporciona una valiosa información poblacional. Tenemos la oportunidad de ampliar el conocimiento acerca de estos aspectos a nivel poblacional, y nuestro reto consiste en diseñar estrategias que faciliten la recuperación de la mayor cantidad de material biológico de buena calidad de estos animales, el cual suele ser descartado. La importancia del material biológico colectado nos enfrenta a la necesidad de trabajar multidisciplinariamente en colaboración con cazadores y con profesionales de diversos ámbitos del conocimiento.

Este artículo describe una estrategia de colecta de muestras biológicas de individuos abatidos por cazadores locales de subsistencia como una herramienta para mejorar el conocimiento de la fauna silvestre y su ecosistema. A pesar de centrarse en el trabajo coordinado con cazadores de subsistencia, esta estrategia puede ser aplicada a otro tipo de caza, como la deportiva, e incluso al aprovechamiento de animales atropellados u otro tipo de cadáveres que se encuentren en buen estado de conservación, siempre que se produzca dentro de un marco legal.

Materiales y métodos

La colecta biológica a partir de animales cazados con fines de subsistencia es un procedimiento simple. Después de abatir la presa, los cazadores o personas cercanas

preparan la pieza de carne que será consumida. Fruto de este despiece de la canal, el poblador rural genera despojos, que suelen ser órganos torácicos y abdominales, que desecha en su entorno. El tipo de órganos descartados depende de los hábitos de cada grupo humano. La metodología que presentamos consiste en coleccionar este material biológico no utilizado por los pobladores. La información biológica obtenida depende de los órganos colectados, de la forma de conservación y del análisis que se aplique.

Uno de los aspectos más originales de este tipo de colecta biológica consiste en la necesidad de establecer una estrategia de manejo participativo de fauna silvestre, ya que los cazadores locales son el eje central de este método. Puesto que ellos se sienten criminalizados cuando personas ajenas a la comunidad observan o cuestionan su actividad de caza, esta metodología es una oportunidad para que los cazadores comprendan que sus actividades son importantes, y que son valoradas y no menospreciadas. Esta colecta, además, supone una oportunidad para que cazadores y técnicos-científicos puedan compartir y mejorar el conocimiento sobre los animales.

Implementación de la metodología

Inicialmente, es primordial explicarle a la comunidad el o los objetivos que motivan la colecta biológica. Si estos se alinean con las prioridades y las necesidades de la población local, el proceso será mucho más constructivo y exitoso para todos.

Antes de implementar cualquier estrategia de colecta biológica, el grupo de trabajo debe acompañar todas las tareas que implican la actividad de la caza, desde los preparativos, antes de la salida, hasta que el animal ha sido usado y los despojos han sido desechados. El conocimiento del proceso nos ayuda a identificar las oportunidades de colecta más adecuadas, y permite adaptar las nuevas actividades de colecta de tal forma que signifique el menor esfuerzo posible para todos y la mejor calidad de muestra biológica.

La actividad de la caza tiene componentes socioculturales concretos en cada sociedad; por lo tanto, la oportunidad y la viabilidad de la colecta depende de la rutina de caza y de la simbología que representa para el grupo humano con el que se trabaja. En ocasiones no es posible obtener la totalidad de las muestras propuestas; no obstante, esta colecta puede reducirse a muestras determinadas. En este sentido, es fundamental empezar solo con la colecta de muestras imprescindibles y evitar el riesgo de saturar o colapsar a los cazadores, ya que ellos pueden sentirse frustrados o utilizados. Es fundamental buscar sinergias entre todas las personas involucradas y preservar la sensación de ser partícipes, “*ser parte de*”. Desde nuestra perspectiva, la opción más sencilla consiste en la colecta rutinaria de todas las vísceras, ya que las personas que cazan y cocinan están habituados a retirarlas en conjunto del resto de la carcasa. Finalmente, recomendamos que la metodología de colecta sea una estrategia comunal que facilite la colaboración

entre los cazadores y que resuelva las preguntas que surjan acerca de ella.

Después del diagnóstico de la dinámica de la caza y la preparación de las presas, que aconsejamos sea realizado junto con los cazadores, el grupo de trabajo debe reflexionar sobre la información que pretende coleccionar y el material biológico disponible. Con base en esta reflexión, es importante que los cazadores reciban un entrenamiento que garantice una correcta colección y conservación de las muestras. De esta manera, es fundamental programar reuniones con ellos para enseñarles a obtener la mayor información de cada animal cazado mediante técnicas sencillas. Este espacio es muy interesante, dado que también genera un proceso inverso de capacitación desde los pobladores locales hacia los investigadores. Ellos conocen mucho mejor la práctica del manejo de cada animal y, por lo tanto, las oportunidades que nos permiten acercarnos a los objetivos trazados.

La colecta de muestras biológicas es un proceso que mejora con la práctica. Por lo tanto, es necesario programar visitas periódicas (dependiendo de la accesibilidad de la zona) para contrastar la eficacia de la colecta, afinar el proceso, reforzar los lazos de colaboración y, de esta forma, mejorar la calidad de la colecta. Es primordial que cada grupo de trabajo se informe de los requerimientos oficiales necesarios para legalizar la implementación de esta metodología en su país o región.

Tipos de colecta

Colecta de los órganos torácicos y abdominales

La población local caza para proveerse de proteína animal y colateralmente puede utilizar subproductos, como piel y dientes, según la especie, con otras finalidades, como la ornamental o la medicinal. No obstante, en las comunidades amazónicas la prioridad de la actividad de la caza es obtener carne como alimento, es decir, se centra en el aparato locomotor. Una vez el animal ha sido cazado, las personas que lo preparan lo abren en canal y retiran las vísceras. Si es una presa de gran tamaño, los cazadores suelen descartar las vísceras en

el mismo lugar de la caza, para reducir el esfuerzo de retorno a la comunidad. Si la presa es de tamaño mediano o pequeño, esta tarea se realiza en la casa o en el campamento. Dependiendo de la especie cazada, antes de la evisceración se elimina el pelo, plumas y/o piel. Las aves son desplumadas directamente, a los primates se les quema el pelo y los roedores son introducidos en agua caliente (Figura 1).

La evisceración suele hacerse de forma conjunta con todos los órganos, es decir, en un solo volumen, y desde la región craneal hacia la caudal (Figura 2). Generalmente, la evisceración se inicia desde la lengua o desde el esófago; a partir de ahí retiran



Figura 1. Proceso de eliminación del pelo de 1) un primate (*Lagothrix poeppigii*); en un primer plano se observa un ave (*Penelope jacquacu*) desplumada, y 2) un *Cuniculus paca* después de utilizar agua caliente para eliminar su piel. (Fotografías de Pedro Mayor)

en conjunto todos los aparatos y sistemas del organismo. Incluso, el ano y la vulva se retiran con cuidado para no ensuciar la carcasa. Cuando se realiza esta evisceración se seccionan los grandes vasos sanguíneos (aorta abdominal y vena cava caudal), y se libera gran cantidad de sangre en las cavidades torácica y abdominal.

Los testículos son los únicos órganos que se colectan separados de la carcasa, debido a que son órganos externos. Además,

los cazadores suelen cortarlos inmediatamente para reducir el olor de las hormonas sexuales masculinas que estos órganos sintetizan. En el caso de las hembras, los pobladores locales no tienen ninguna dificultad en hacer una evisceración conjunta y limpia.

Después de la evisceración del animal, según los condicionamientos culturales, el cazador y/o cocinero separa los órganos que consumen. Esta elección es muy



Figura 2. Proceso de extracción y codificación de los órganos torácicos y abdominales de un primate (*Sapajus macrocephalus*) recién cazado. (Fotografías de Pedro Mayor)

variable y también depende de la presa. A partir de 72 encuestas que nuestro grupo de investigación realizó en 12 comunidades rurales de la Amazonía peruana, se estimó que el 57,1 % de las familias come algún órgano torácico o abdominal; el 47,6 %, el hígado; el 38,1 %, el corazón; el 19,0 %, los pulmones y el 11,9 %, los riñones.

La conservación de las muestras colectadas es un punto crítico a considerar, pues es común que haya una disponibilidad limitada de electricidad y agua potable en las comunidades rurales donde se trabaja. Además, la selección del método de conservación depende del análisis que queramos realizar.

Uno de los sistemas de conservación que proponemos es la conservación de tejidos en formaldehído (formol) (Mayor et al., 2017). Aunque la concentración final de uso de formol suele ser del 4 %¹, recomendamos aumentarla al 6 % debido a que la elevada temperatura en regiones tropicales provoca el aumento de su evaporación. A la hora de hacer la solución de conservación con formaldehído es preferible utilizar agua potable o de lluvia, y evitar el agua de río, ya que esta puede contaminar las muestras biológicas.

Podemos preparar la solución de formol en depósitos grandes (aproximadamente 70-100 litros), según la capacidad necesaria para almacenar las muestras. Se aconseja llenar el 70 % del depósito con formol para

asegurar que las vísceras tengan suficiente espacio para su almacenamiento.

La distribución de los depósitos de formol dentro de la comunidad puede realizarse de dos formas, según la cantidad de familias con las que se trabaja: 1) si son pocas familias, recomendamos asignar un depósito a cada una; así, cada familia se hace responsable de su depósito y tendrá mayor autonomía para trabajar, y 2) si es un grupo más amplio de cazadores, se puede colocar un depósito en diferentes áreas de la comunidad. En este último caso, una o varias personas pueden hacerse cargo del depósito. Es aconsejable que los propios colectores decidan de forma autónoma la estrategia que desean adoptar.

Este sistema de colecta y almacenamiento es realizado por los propios cazadores de subsistencia o por las personas que preparan y cocinan al animal. Esta metodología permite una mayor independencia y autonomía por parte de las familias participantes, y una menor intervención por parte del equipo técnico. Por tanto, es fundamental asegurar que el material biológico colectado esté correctamente identificado con un código que lo conecte a un registro de caza (Figura 3). En dicho registro se anota información importante que complementa al material biológico (por ejemplo, fecha y lugar de caza, especie, sexo y peso del animal), y que permite establecer relaciones ecológicas de gran interés. Como el formol

1 Aclaración: según la zona donde se trabaje, la concentración del formol se expresa como un 10 % de la solución madre; dado que la solución madre tiene una concentración del 40 %, al final la concentración del formol es del 4 %.



Figura 3. Ejemplos de codificación para muestras biológicas conservadas en formol: 1) código alfanumérico grabado con lapicero o marcador en un plástico de consistencia dura; 2) combinación de letras de colores utilizada como juego para que los niños aprendan letras o números; y 3) códigos quemados en plásticos. (Fotografías de Pedro Mayor)

es un líquido corrosivo y borra la tinta de la mayor parte de marcadores, hay que idear un mecanismo eficaz que mantenga el sistema de codificación.

Si los pobladores no consumen la cabeza de la presa, recomendamos que esta sea colectada junto con el resto de vísceras. Generalmente, solo se puede coleccionar la cabeza de animales pequeños y medianos, debido a que la de los animales grandes

puede llenar rápidamente los depósitos de almacenamiento de muestras. En este mismo documento hacemos referencia a la utilidad y el tratamiento de la colecta del cráneo y de otros huesos.

En las primeras semanas de colecta es importante verificar la correcta codificación y registro de las muestras. El proceso de verificación más sencillo consiste en registrar la especie del animal gracias a su

correspondencia con la anatomía de los órganos y/o de la cabeza (en el caso de que ésta última sea colectada). Por lo tanto, la misma colecta de muestras biológicas permite comprobar si esta se está desarrollando con normalidad. Existen atlas de anatomía de animales amazónicos silvestres que pueden facilitar este proceso (Mayor & López-Plana, en prensa).

Cada lote de vísceras de un mismo animal debe estar incluido dentro de una sola bolsa de plástico, junto con el código del individuo, el cual es único para cada espécimen. Es importante reducir al máximo el tiempo entre la muerte del animal y su inclusión en formol para detener los procesos de autólisis que se inician muy tempranamente en climas tropicales. Para mejorar las condiciones de conservación, las vísceras deben

ser embebidas completamente en formol dentro de la primera hora después de que el animal ha perdido su temperatura corporal; aunque lo ideal es que sea inmediatamente, tras haber sido abatido.

Los cazadores deben ser entrenados para manejar de forma segura y con medidas de seguridad la solución de formol, debido a que este es un producto químico abrasivo y cancerígeno (Figura 4). Se aconseja suministrarles guantes y máscaras a los cazadores para cuando pongan el material biológico en el depósito de formol. Este debe tener mecanismos de seguridad para evitar que los niños tengan acceso a él. Finalmente, es aconsejable lavarse las manos con agua cada vez que se tenga contacto con el formol.



Figura 4. Medidas de seguridad para minimizar riesgos sanitarios: 1) el uso de máscaras evita la inhalación del formol gaseoso; 2) el uso de guantes minimiza el contacto con el formol; 3) el depósito de formol está localizado en una zona de fácil accesibilidad y al aire libre; y 4) mecanismos de cierre seguro del depósito para evitar que los niños accedan al formol. (Fotografías de Okale Robert)

Colección de cráneos y otros huesos del esqueleto

El estudio de cráneos ha sido tradicionalmente útil para determinar la estructura de edad de las poblaciones de fauna. No obstante, también puede servir para correlacionar la morfología dentaria o craneana con otros elementos, como la dieta, el coeficiente de encefalización y los problemas sanitarios. De igual manera, los cráneos se usan para definir la taxonomía de algunas especies y como verificadores de los registros de caza. El estudio de toda la osamenta permite entender la función locomotora.

Para los cazadores, la colecta de las cabezas de las presas es una tarea sencilla. Sin embargo, la cabeza incluye tejido óseo

(cráneo y mandíbula) y tejidos blandos; así, el punto crítico de una adecuada colecta de cráneos es la eliminación de todo tejido blando, ya que demanda un mayor esfuerzo (Figura 5). Existen varios métodos sencillos para realizar este proceso. El proceso de maceración es el más frecuentemente utilizado para preparar huesos grandes y robustos, y se basa en la acción de las bacterias para limpiarlos. El proceso consiste en:

- retirar la mayor parte de tejidos blandos;
- sumergir los huesos en agua en cocción y cambiar el agua en la medida que se va saturando de grasa. Cuando las bacterias finalizan su proceso de descomposición, el agua permanece limpia;

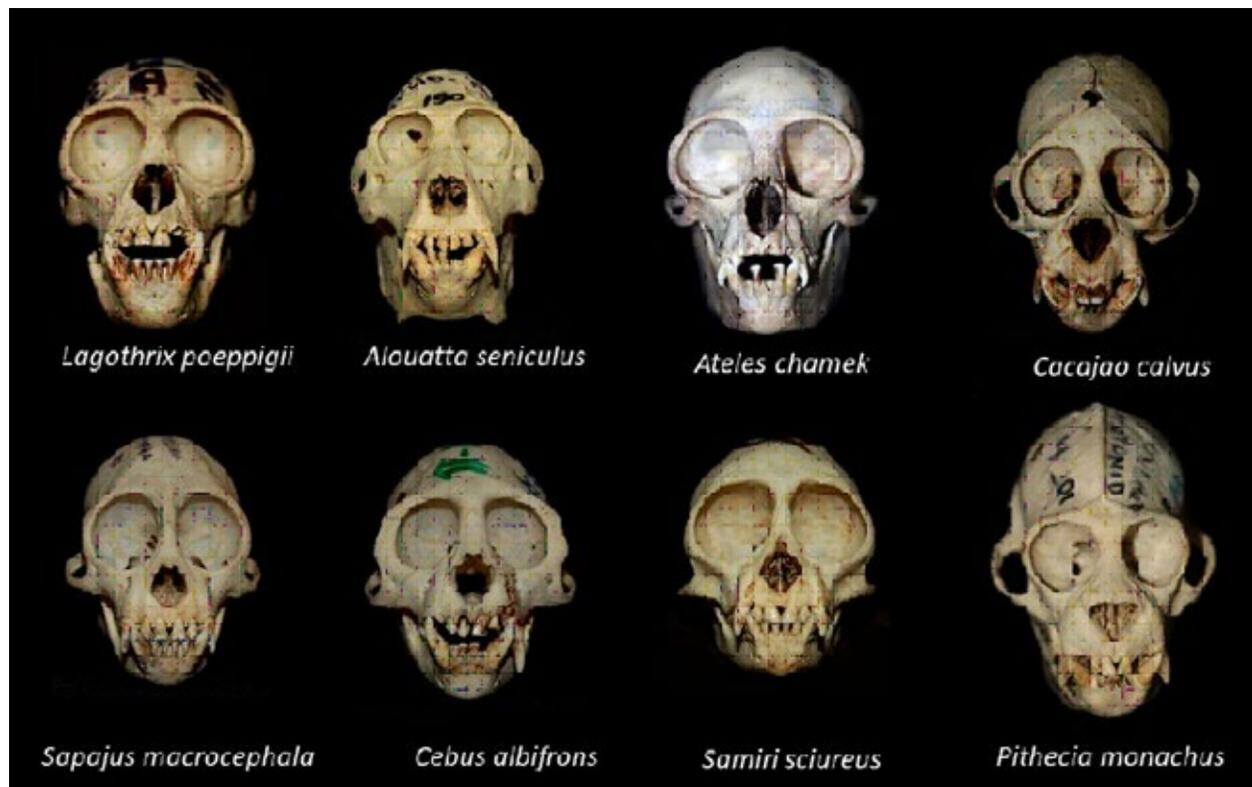


Figura 5. Cráneos de diferentes especies de primates. (Fotografías de Pedro Mayor)

- introducir el hueso en agua oxigenada para blanquearlo;
- pegar los dientes que se hayan desprendido.

Este método es adecuado para comunidades rurales, ya que muchos cazadores suelen consumir los músculos faciales de la cabeza y, de esta forma, ayudan a limpiar el cráneo durante el proceso de cocinado. No obstante, es fundamental ser consciente de que, según la especie y la edad del animal con el que estemos trabajando, nos encontraremos con unas particularidades del sistema óseo que requerirá adaptaciones al método original.

Colecta de muestras de sangre

La sangre es el fluido corporal más utilizado para identificar posibles agentes infecciosos que pueden causar enfermedades. Por lo tanto, este tipo de muestra biológica nos permite realizar estudios de medicina de la conservación y de salud pública. Muestras colectadas, siguiendo la metodología expuesta, se han utilizado para realizar estudios serológicos con test de aglutinación, ELISA y PRNT (Aston *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2019), y moleculares, con PCR a partir de ADN (Morales *et al.*, 2017; Aysanoa *et al.*, 2017).

El ARN es un ácido considerablemente más lábil que el ADN y requiere una conservación más estricta con una cadena de frío rigurosa de hasta -70 °C desde el momento en que se colecta la muestra de sangre.

Trabajar con animales ya abatidos nos permite disponer de una gran muestra de

sangre. Durante la evisceración de los animales, las personas, ya sean cazadores o quienes cocinan las presas, seccionan los vasos principales (aorta y vena cava caudal), lo que causa que se extravase gran cantidad de sangre, que se deposita en las cavidades torácica y abdominal. Esta sangre puede ser colectada fácilmente en tubos o por medio de papel de filtro. La elección del tipo de colecta depende de la posibilidad de conservar una cadena de frío. En cualquier caso, es importante mantener el mayor grado de asepsia para evitar la contaminación de las muestras.

La colecta de muestras sanguíneas en papel de filtro (Whatman nº3, FTA, Protein Saver, entre otros; Figura 6) es recomendable si no se dispone de una cadena de frío. El funcionamiento es muy sencillo y consiste en:

- llenar completamente el papel de filtro y en todo su espesor;
- evitar sobresaturar el papel de filtro con sangre para minimizar la probabilidad de contaminación fúngica o bacteriana;
- secar la sangre a temperatura ambiente, en un entorno seco y a la sombra durante 3 horas o más;
- evitar la exposición constante de las muestras al calor, la humedad o la luz solar directa;
- escribir en el mismo papel de filtro la información del animal muestreado;
- guardar las muestras solo cuando estén completamente secas;

- almacenar las muestras de forma independiente para evitar la contaminación cruzada

En el caso de disponer de cadena de frío, la muestra sanguínea se coloca en tubos asépticos. Dependiendo del estudio, es aconsejable llevar a cabo una colecta de sangre entera, plasma, suero y/o parte corpuscular (células sanguíneas). La muestra de sangre debe ser congelada como mínimo a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis en el laboratorio. La calidad de conservación mejora a medida que la temperatura baja.

El personal técnico o los promotores de salud locales pueden complementar la metodología con la realización de frotis sanguíneo y/o gota gruesa en láminas de portaobjetos. Es importante valorar la posibilidad de realizar una metodología de tinción rápida (Dift Quick o similar), que permite identificar hemoparásitos.

Registros de caza

La colecta biológica debe estar acompañada de un registro que incluya información de cada animal abatido (fecha y lugar de caza, especie, sexo y peso del animal). Estos datos son fundamentales para realizar

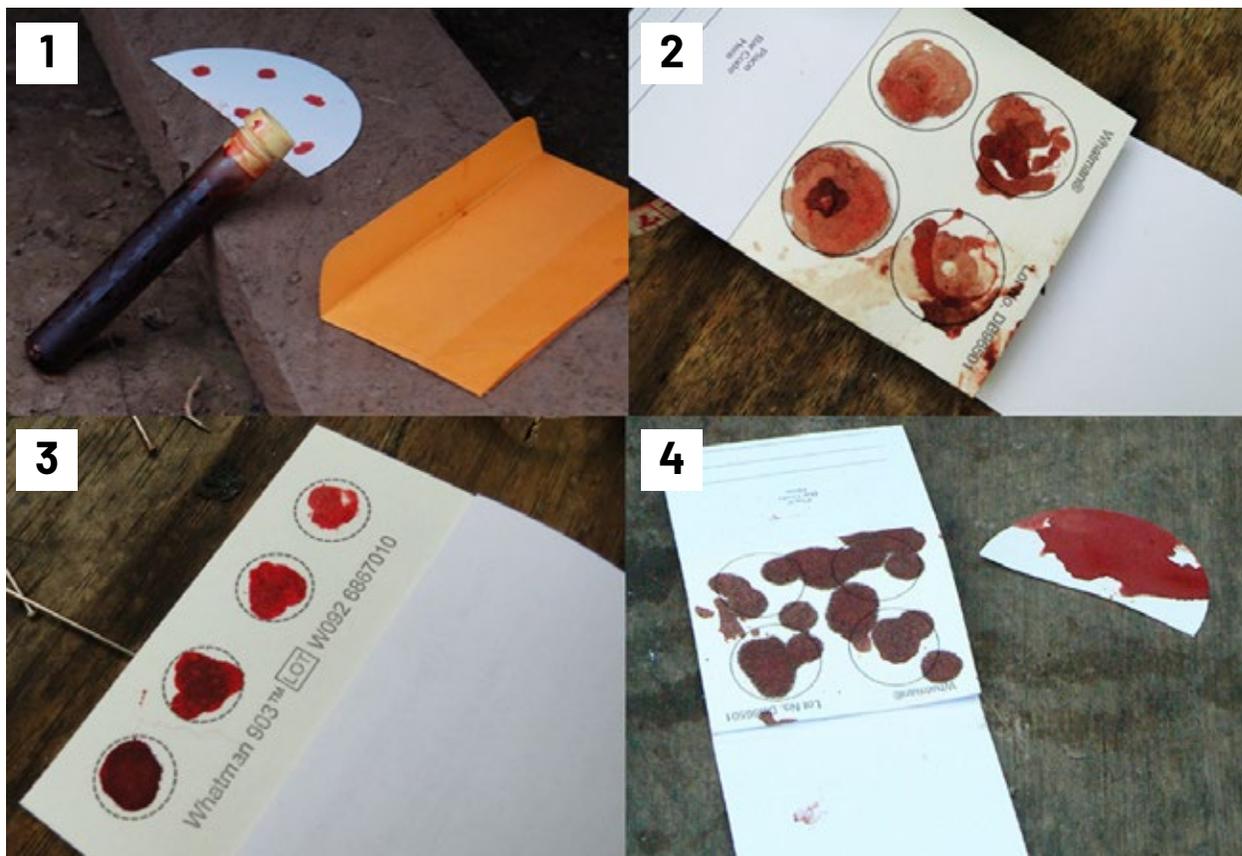


Figura 6. Diferentes tipos de papeles de filtro utilizados para la colecta y conservación de sangre seca: 1) Papel Whatman n°3 y tubo de sangre, 2) Protein Saber, 3) Papel Whatman FTA, y 4) Papel Whatman FTA y Papel Whatman n°3. (Fotografías de Pedro Mayor)

estudios ecológicos que ayuden a entender la relación de la información generada a partir de las muestras biológicas con el contexto geográfico y climático del animal estudiado. Para poder hacer esta asociación es imprescindible adjudicar un código a cada individuo que conecte la información obtenida, a partir de los registros de caza, con las muestras biológicas colectadas del mismo individuo. El estudio de los registros de caza también ayuda a monitorear y a evitar el aumento de la presión de caza sobre estas especies.

Interpretación o análisis de muestras

Necropsia

La necropsia es el examen del cadáver que permite conocer el estado de salud del individuo. Es un procedimiento ordenado que incluye la revisión externa e interna del animal, mediante la observación macroscópica y minuciosa de todos los aparatos y sistemas. En el caso de que se observen lesiones, se recomienda describirlas y fotografiarlas, al igual que realizar la toma de una muestra de biopsia para su posterior análisis (generalmente histopatológico).

En función de la disponibilidad del material biológico de los diferentes animales cazados, se realiza una necropsia con la carcasa fresca o únicamente de las vísceras (órganos torácicos y abdominales) fuera de la carcasa. En este último caso, las vísceras ya deben estar conservadas en formol,

con la consecuente alteración de color y textura que este les produce (Figura 7), al igual que la deshidratación de los órganos (Fraser, 1985).

Existen diferentes protocolos de necropsia, todos correctos y muy similares entre sí. Nuestro consejo consiste en realizar un buen archivo fotográfico y hacer una colecta rutinaria de muestras biológicas (hígado, pulmón, corazón, riñón, bazo y cerebro), aunque no se observen lesiones. Adicionalmente, es fundamental coleccionar muestras de todas las lesiones observadas (Figura 8). En el caso de que se observen múltiples lesiones, sugerimos que se realice una colecta representativa de las lesiones, que incluyan los diferentes tipos de estas y sus estados de progresión.

Siempre que sea posible, se recomienda pesar el animal y estimar su condición corporal. Una deficiente condición corporal puede estar relacionada con procesos de enfermedad y estrés ambiental, principalmente debido a la escasez prolongada de alimentos. En ambos casos se movilizan las reservas de grasa utilizadas como energía (Sapolsky, 2002), y se produce una disminución de la respuesta inmune frente a infecciones parasitarias, virales y bacterianas (Muehlenbein *et al.*, 2006; Webster-Marketon & Glaser, 2008). El grado de depósito de grasa visceral es un buen indicador del estado corporal de los animales. Se puede calcular la relación entre el peso de órganos concretos (especialmente corazón o riñón) y el correspondiente peso de grasa visceral de cada órgano. Otra oportunidad para estimar la condición corporal

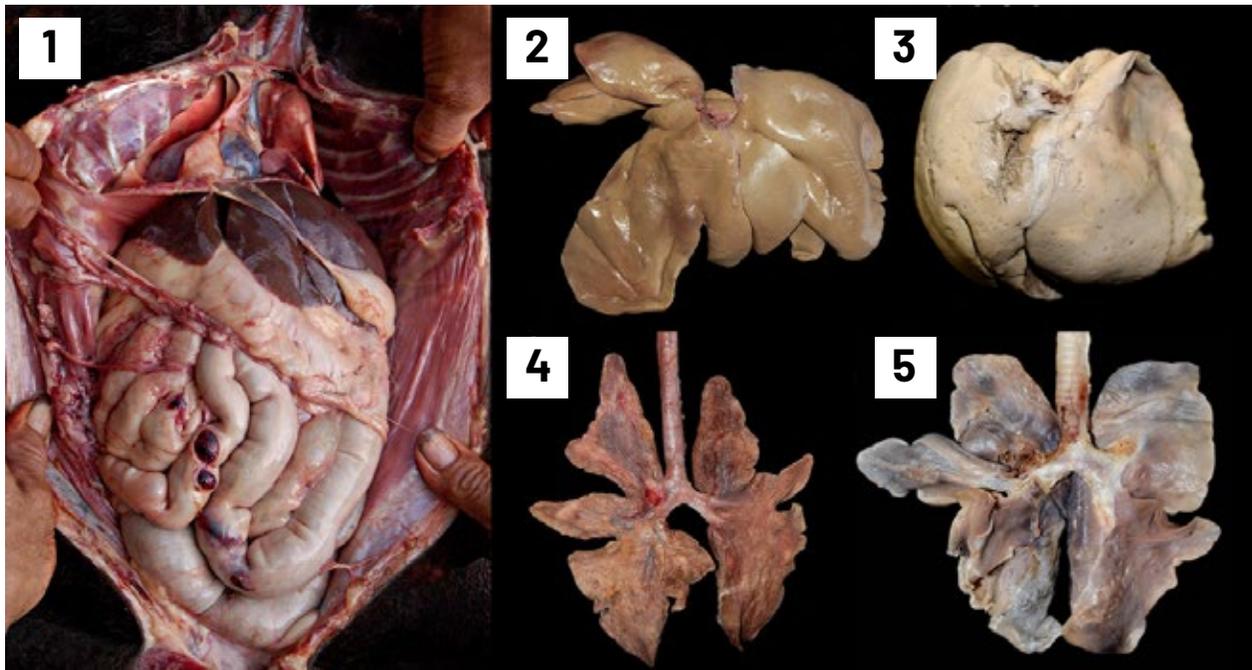


Figura 7. Órganos torácicos y abdominales de carnívoros en diferente estado de conservación: 1) órganos abdominales de un primate (*Alouatta seniculus*) recién abatido; 2) hígado fresco de *Leopardus pardalis*; 3) hígado conservado en formol de *Potos flavus*; 4) pulmón fresco de *Leopardus pardalis*; y 5) pulmón conservado en formol de *Potos flavus*. (Fotografías de Pedro Mayor)

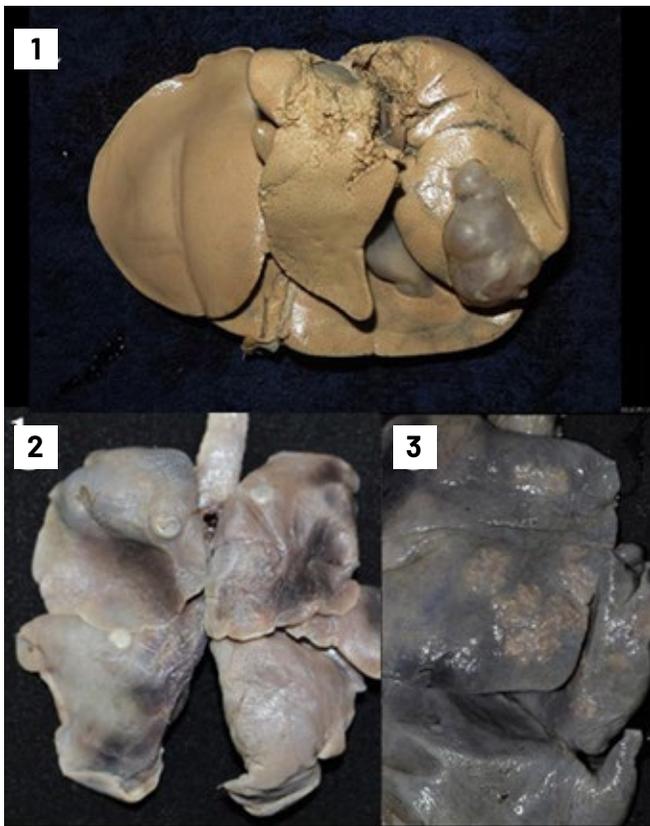


Figura 8. Lesiones de origen parasitario observados en el parénquima de 1) hígado de *Cuniculus paca*, 2) pulmón de *Potos flavus*, y 3) pulmón de *Lagothrix poeppigii*. (Fotografías de Pedro Mayor)

del animal es el contenido de grasa acumulada en los omentos o epiplones, e incluso el análisis mediante ultrasonografía, si se dispone de esa tecnología.

Estudios anatómicos

A pesar de que el conocimiento de la morfología es fundamental para la práctica clínica veterinaria y para mejorar la comprensión de los procesos fisiológicos, la anatomía de los animales silvestres sigue siendo una materia muy desconocida. La identificación de lesiones macroscópicas se basa en el conocimiento previo de la normalidad anatómica de los órganos. Por lo tanto, es importante continuar con la descripción de la anatomía de las especies silvestres, incluyendo principalmente todos los órganos torácicos y abdominales y las relaciones topográficas existentes entre ellos. Dicha descripción ayuda a comprender mejor el proceso de desarrollo de las diferentes especies; para ello, es necesario estudiar variados indicadores biométricos y la relación volumen/peso de los diversos órganos en las distintas edades.

Estudios de ecología alimentaria

La mayor parte de los mamíferos y aves y algunos reptiles amazónicos se caracterizan por tener un régimen alimentario con un elevado nivel de frugivoría, lo cual significa que su dieta se compone principalmente de frutos y, por lo tanto, estos son su fuente primordial de carbohidratos (Hawes & Peres, 2014). Así, estas especies de animales participan de manera activa en la dispersión de semillas y en el mantenimiento y regeneración de los bosques tropicales (Chapman,

2005). Tradicionalmente el estudio de la dieta de la fauna silvestre se ha basado en la observación del comportamiento alimentario de animales vivos (Hemingway & Bynum, 2005); sin embargo, este tipo de estudio en el medio silvestre está limitado por la dificultad de cuantificar el consumo de cada tipo de alimento.

El uso de material biológico procedente de animales cazados es una alternativa que favorece la obtención de información confiable sobre la ecología y la historia de vida de las especies. En los diferentes compartimentos digestivos se encuentran los componentes ingeridos por el animal en las horas anteriores. Como punto de referencia, el tiempo que el alimento tarda en recorrer el aparato digestivo (tránsito gastrointestinal) de un perro es de 33 h en todo el tracto gastrointestinal y de 7,2 h en estómago (Balsa *et al.*, 2017), y en humanos es de 25 h en todo el tracto gastrointestinal y de 9 h entre el estómago y el intestino delgado (Ke *et al.*, 1990).

El análisis de la composición de la dieta puede incluir diferentes órganos digestivos, aunque recomendamos que se focalice en el uso del contenido gástrico debido a que el alimento aún no está completamente digerido, lo cual mejora su identificación. Es necesario extraer el contenido estomacal y lavarlo utilizando tamices de diferentes tamaños para llevar a cabo la separación física de los elementos (Figura 9). En un inicio, los fragmentos más grandes pueden retirarse e iniciar su tamizado. El tamiz con un diámetro de poro mayor permite seleccionar los contenidos menos digeridos, y el tamiz con membrana semipermeable,



Figura 9. Procesado de los contenidos digestivos: 1) contenido estomacal de un primate (*Alouatta seniculus*); 2) procesado de filtrado del contenido gástrico; 3) este proceso también se puede aplicar al contenido intestinal; y 4) obtención de las semillas ingeridas por el individuo. (Fotografías de Pedro Mayor)

los contenidos más digeridos y los suelos. Estos contenidos deben colocarse a 60 °C en una estufa, durante 6 horas, hasta que estén completamente secos; es importante evitar su combustión, ya que eso impediría la posterior identificación de los componentes. Este diseño permite obtener el peso y la biometría de cada uno de los componentes y describir todas las semillas encontradas. Finalmente, el uso de esta metodología facilita relacionar la dieta de diferentes especies con las características morfológicas del aparato digestivo.

Estudio de helmintos en órganos tubulares digestivos

Los helmintos digestivos se encuentran en el lumen de los compartimentos digestivos de los animales, y su fijación a la mucosa de cada uno de los órganos tubulares digestivos depende de la especie de helminto. Al filtrar el contenido de los compartimentos digestivos podemos separar los helmintos intestinales adultos; luego, estos especímenes se lavan y se conservan en alcohol al 70 %. Es posible que, durante el proceso de filtración, la mayor parte de los microparásitos y de huevos/quistes

atraviesen el filtro que utilizemos. Así, antes de realizar dicho proceso, es importante coleccionar directamente una pequeña muestra de los diferentes contenidos para identificar los microparásitos y los huevos/quistes (Conga *et al.*, 2016; Gómez-Puerta & Mayor, 2017). La colecta de heces permite realizar un análisis coprológico para identificar y cuantificar quistes de protozoos y huevos de helmintos. Después de filtrar el contenido de cada órgano tubular, se debe revisar con detenimiento la mucosa para localizar posibles lesiones, que pueden incluir especímenes infiltrados en la mucosa (Figura 10).

Además del estudio del tracto gastrointestinal, recomendamos inspeccionar el parénquima de otros órganos coleccionados (principalmente hígado, pulmón y corazón) con la finalidad de buscar especímenes de parásitos (Mayor *et al.*, 2015).

Estudio de metales pesados

Los metales pesados suelen ser absorbidos por vía pulmonar o digestiva. Después de su absorción, aparecen rápidamente en la sangre, que los transporta a los diferentes tejidos del organismo. Estos tejidos se dividen en tejidos blandos (riñón, hígado o

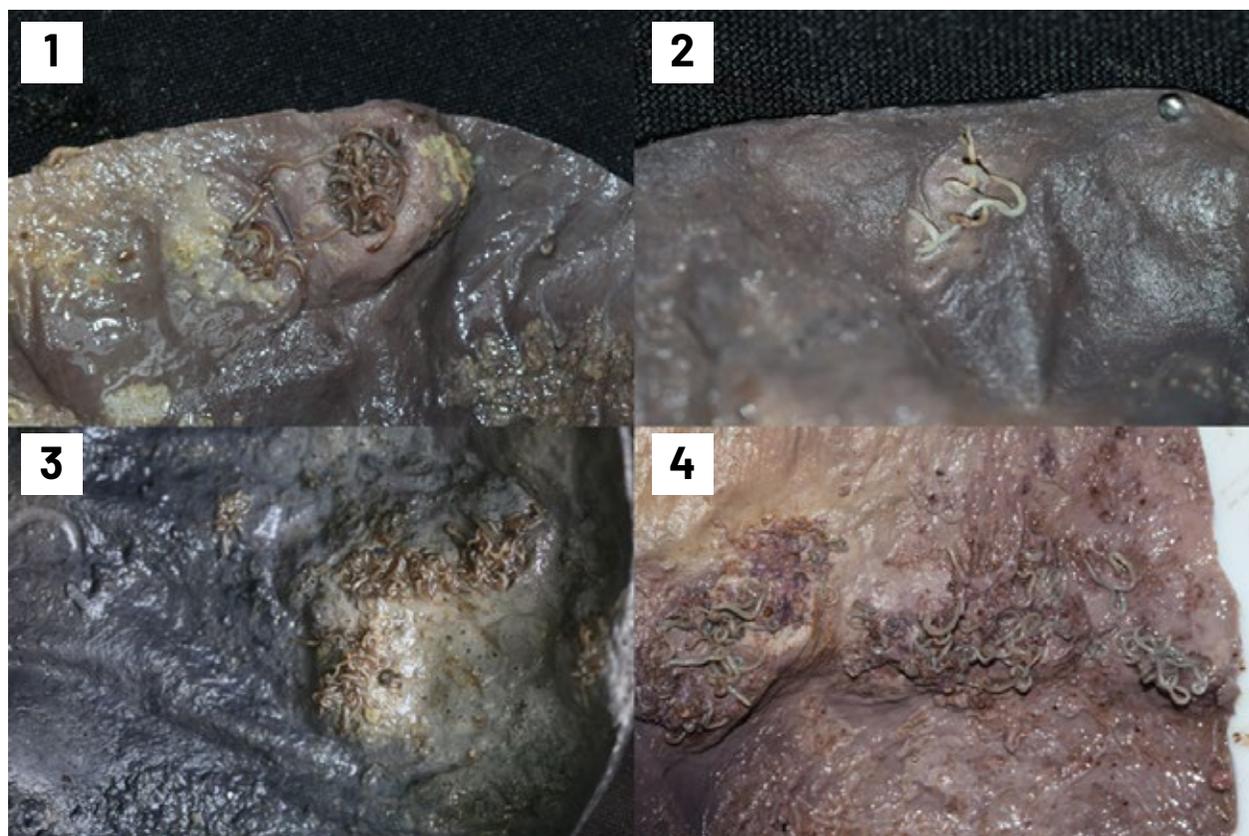


Figura 10. Lesiones observadas en estómago de *Cuniculus paca* por la infiltración de helmintos estronjilidos (*Boehmiella wilsoni*) en la mucosa gástrica con diferente densidad de infección: (1) baja densidad, (2) intermedia densidad; y (3 y 4) elevada densidad de helmintos infiltrados en la mucosa gástrica. (Fotografías de Pedro Mayor)

encéfalo, entre otros) y tejidos duros (huesos, dientes, pelo, entre otros). La principal ruta de eliminación de los metales pesados suele ser la orina, que en promedio se encarga de la eliminación del 75-80 % de toda la extracción de dichos metales. La segunda ruta, por importancia, es la digestiva. Finalmente, otras vías alternativas para eliminarlos son las estructuras córneas (pelo, uñas, pezuñas, cuernos), que suponen aproximadamente el 8 % de la excreción total. En el caso de las hembras, los metales pesados también pueden ser excretados a través de la leche materna (Sakai, 2000; Klotz & Göen, 2017).

De esta forma, el estudio de los metales pesados consiste en analizar los tejidos donde es más probable encontrarlos. Así, la sangre entera es el tejido corporal más ampliamente utilizado para dicho análisis; sin embargo, en los últimos años se han realizado avances significativos en el estudio de otras formas de sangre (plasma y volumen corpuscular). Otra posible vía de análisis es la orina, debido a que, como ya se mencionó, esta es una ruta principal de eliminación de metales pesados.

La matriz ósea está compuesta en un 35 % por material orgánico (fibras colágenas, proteínas óseas y proteoglicanos) y en un 65 % por minerales (principalmente fosfato de calcio). Esta última fracción puede ser sustituida por metales pesados, debido a que tienen características físico-químicas parecidas al calcio. Esta es la razón por la que los huesos pueden almacenar hasta el 80-90 % de todos los metales pesados. Si se toma en cuenta que el intercambio de

metales pesados entre huesos y sangre es muy lento, entre 6 y 37 años, el estudio de los metales pesados en huesos se convierte en uno de los mejores indicadores de exposición crónica o acumulada.

Finalmente, se puede realizar el análisis de metales pesados en huesos y estructuras córneas, como pelo, plumas, uñas, pezuñas y cuernos. Las limitantes que tenemos son la escasa información referencial que existe sobre estos tejidos y la variabilidad en la velocidad de formación de los tejidos córneos y, por ende, en la eliminación de los metales pesados.

Los metales pesados no sufren procesos de autólisis, no se degradan, hecho que facilita las condiciones de colecta. No obstante, es importante ser cuidadosos a la hora de realizar la colecta biológica. Aunque la forma ideal de conservar los órganos es la congelación, las limitaciones logísticas que acompañan a los estudios de campo en fauna silvestre, en la mayoría de las ocasiones, condicionan su aplicación debido a la difícil disponibilidad de energía eléctrica. Carbó *et al.* (2019) y Orta-Martínez *et al.* (2020) describen las condiciones adecuadas de conservación de órganos en formol para el análisis de metales pesados.

Los metales pesados se miden en forma de concentraciones respecto a la masa del órgano utilizado, ya sea en peso seco o húmedo. Cualquier proceso de conservación (refrigeración, congelación, secado, fijación en formol, etc.) produce una variación en el peso, principalmente debido a los procesos de deshidratación del órgano (Bischof *et al.*, 2008). En el caso de la conservación con

formol hay una pérdida del 13 % del peso (Fraser, 1985). Para controlar esta variación, es importante medir el peso del órgano analizado en todas sus fases, desde su colecta (órgano fresco) hasta el momento de ser analizado, química y/o isotópicamente.

Otro efecto fundamental que hay que considerar es la lixiviación de los metales pesados, es decir, la pérdida de una porción de ellos y la contaminación cruzada. Esta última se evita cuando se almacenan todos los órganos de forma independiente. En cuanto a la lixiviación, esta se produce en muestras delgadas y pequeñas (menores a 1 cm) y en la superficie de la muestra. Esto se debe a la reducida capacidad de penetración del formol, que está limitada al primer centímetro de profundidad en los tejidos orgánicos (Start *et al.*, 1992; Gilbert-Barness *et al.*, 2014). Por lo tanto, para evitar este inconveniente, los órganos enteros se pueden conservar sin efectuar incisiones, y se analiza químicamente su zona profunda (> 1cm). Por otro lado, es importante considerar que los procesos de lixiviación de los metales pesados no son homogéneos; cada uno de ellos tiene sus procesos particulares (Hamir *et al.*, 1995; McCormack *et al.*, 2020).

Finalmente, se deben usar cuchillos de cerámica y evitar que los órganos entren en contacto con cualquier superficie o instrumentos metálicos (cuchillos, machetes, etc.) para impedir la contaminación con otros metales pesados.

Estudios reproductivos

La sostenibilidad de la caza implica la cosecha de animales a tasas similares o

incluso menores que la velocidad de crecimiento intrínseco de la población (Mayor *et al.*, 2017). Si una especie tiene una presión de caza excesivamente elevada, no podrá recuperarse. La capacidad de soportar las diferentes presiones de caza varía en función de la capacidad biológica de la especie, en concreto de su capacidad reproductiva (Caughley, 1977). Por lo tanto, la toma de decisión sobre el manejo de fauna es una acción constante que depende de la vulnerabilidad de cada especie ante la actividad de cacería y la presencia de otros factores ambientales no antrópicos, como depredadores naturales y enfermedades. Así, las especies menos vulnerables son más apropiadas como fuente de proteína animal y tienen que ser cazadas de forma sostenible. Por el contrario, es recomendable evitar la caza de especies más vulnerables.

No obstante, el registro de la biología reproductiva de especies silvestres de vida libre es escaso. La información reproductiva de la fauna silvestre no puede depender de la observación sistemática del comportamiento social y reproductivo, tal y como se realiza tradicionalmente, debido a que proporciona datos limitados. De forma alternativa, se ha utilizado peligrosamente la información que proviene de especies silvestres mantenidas en cautiverio y de especies domésticas (Pukazhenthil & Wildt, 2004).

De forma habitual, la fisiología reproductiva de los animales domésticos se ha estudiado mediante el análisis regular de perfiles hormonales a partir de muestras de sangre o heces. En la década de

1970, las mejoras en la anestesia permitieron un muestreo esporádico en especies silvestres, lo que ayudó a identificar las diferencias de estas con las especies domésticas. Sin embargo, el principal problema seguía siendo la imposibilidad de realizar estudios longitudinales con los mismos animales. Además, hubo evidencias de que el estrés producido al aplicar la contención química podría alterar el patrón hormonal. Finalmente, las condiciones de cautiverio son tan diferentes a las de la vida libre, que no permiten la extrapolación de la información reproductiva. De esta forma, el estudio de los órganos genitales de animales cazados es una oportunidad para incrementar de forma significativa el conocimiento de especies silvestres de vida libre y desde su hábitat. Esta información es relevante para mejorar la planificación de manejo de fauna silvestre, incluyendo los programas de cría en cautiverio, la caza y los programas participativos de gestión de fauna silvestre.

Nuestros estudios se han enfocado por lo general en la reproducción de la hembra, ya que ella es la que alberga la gestación y, por lo tanto, es el factor limitante de la reproducción en la mayoría de las especies. La colecta biológica de los diferentes órganos

reproductivos procedente de fauna cazada permite realizar avances significativos en fisiología (Mayor *et al.*, 2012, 2015), ecología (El Bizri *et al.*, 2018, 2019) y producción reproductiva (Gottdenker & Bodmer, 1998; Mayor *et al.*, 2010, 2011, 2017; Bowler *et al.*, 2014).

La conservación en formol de los órganos genitales femeninos favorece la aplicación de metodologías estándares de histología e inmunohistoquímica, que serán fundamentales para mejorar el conocimiento de los procesos hormonales y de la evolución de los ciclos sexuales. No obstante, para llegar a conclusiones rigurosas es necesario un tamaño de muestra amplio y que represente todas las fases sexuales en las que una hembra adulta puede encontrarse: folicular, luteal y gestante (Figura 11). Así, con el fin de valorar si el tamaño de muestra es el adecuado, la identificación de la fase sexual es la primera tarea que debe realizarse.

Figura 11. Órganos genitales de un primate (*Lagothrix poeppigii*): 1) ovario en fase folicular con un gran folículo antral; 2) ovario en fase luteal con la presencia de un cuerpo lúteo que invade todo el estroma del ovario; 3) órganos genitales de una hembra no gestante; y 4) órganos genitales de una hembra gestante. (Fotografías de Pedro Mayor)



La combinación de la fase sexual con la edad o el peso vivo del individuo determina el inicio (pubertad) y el final (senescencia) de la vida reproductiva (El Bizri *et al.*, 2019). Finalmente, la identificación de la gestación,

del tamaño de camada (número de fetos por hembra gestante) y del sexo de los fetos permite estimar importantes parámetros reproductivos, como son:

• <i>Tasa de ovulación</i>	$n.^{\circ}$ de cuerpos lúteos (CL) / $n.^{\circ}$ de hembras
• <i>Tasa de fertilización</i>	$n.^{\circ}$ de embriones o fetos / $n.^{\circ}$ de CL en hembras gestantes
• <i>Gasto reproductivo</i>	$n.^{\circ}$ de CL - $n.^{\circ}$ de embriones o fetos en hembras gestantes
• <i>Tasa de gestación</i>	$n.^{\circ}$ de hembras gestantes / $n.^{\circ}$ total de hembras adultas
• <i>Días de gestación por año</i>	365 días/año * Tasa de gestación
• <i>$n.^{\circ}$ de partos por hembra y año</i>	Días de gestación por año / longitud de la gestación
• <i>Intervalo entre-partos</i>	Longitud de la gestación / tasa de gestación
• <i>Intervalo parto-concepción</i>	Intervalo entre partos - longitud de la gestación
• <i>Producción reproductiva anual</i>	$n.^{\circ}$ de partos por hembra y año * tamaño de camada
• <i>Productividad bruta</i>	$n.^{\circ}$ total de embriones-fetos / $n.^{\circ}$ total de hembras adultas
• <i>Fecundidad bruta</i>	$n.^{\circ}$ total de fetos hembra / $n.^{\circ}$ total de hembras adultas

Cuando se dispone de un tamaño de muestra suficiente de hembras gestantes (aproximadamente $n > 25$), se pueden realizar estudios que describan el desarrollo embrionario y fetal de la especie (Figura 12), que, junto con el crecimiento posnatal, completa el desarrollo de la especie hasta

la fase adulta (cuando el individuo expresa el máximo potencial de la especie). La morfología comparada permite entender las relaciones evolutivas entre especies (El Bizri *et al.*, 2017; Andrade *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2020).



Figura 12. Imagen de fetos de *Cuniculus paca* en diferentes edades de gestación. (Fotografías de Pedro Mayor)

Además del estudio de los órganos genitales femeninos, se pueden realizar otras investigaciones similares en órganos genitales masculinos que permitan mejorar la comprensión de la fisiología reproductiva, la estacionalidad, y el inicio (madurez) y el final (senescencia) de la vida reproductiva. Dado que todas las funciones de la fauna silvestre dependen de factores externos, en este caso también es fundamental interrelacionar los hallazgos encontrados mediante

estudios multidisciplinarios, y conectarlos a los eventos climáticos y ecológicos del entorno donde viven los animales.

Estructura de edad

La edad dental, a partir del análisis de los cráneos, es una herramienta bastante fiable para describir la estructura etaria de una población. Aunque la lectura de la edad suele ser relativamente fiable, puede haber diferencias debido a aspectos nutricionales

(composición y tipo de alimentos, carencias nutricionales, etc.) o diferencias ambientales. Esta lectura es más certera en las etapas tempranas de la vida, durante las cuales tiene lugar el desarrollo y la maduración dentaria.

La edad dental determina los acontecimientos que ocurren durante los procesos de crecimiento y desarrollo de los dientes, que suelen presentar una secuencia constante. Por lo tanto, las piezas dentales aportan un conocimiento aproximado de la edad de los individuos, ya sea que estos estén vivos o muertos.

Esta edad se cataloga en tres clases: la primera incluye animales jóvenes con dientes en erupción; la segunda clase abarca animales con dentaduras completas, sin desgaste o con un pequeño desgaste; la tercera clase de edad comprende animales con un desgaste dentario progresivo. Los individuos con la pulpa dentaria visible son individuos de una edad muy avanzada.

Así, la distribución de edades puede ser calculada a partir de las muestras colectadas, usando estimaciones del desarrollo y del desgaste dentario (Mendes-Oliveira, 2012). La caza puede afectar la abundancia y la estructura de edades de ciertas poblaciones. No obstante, es difícil interpretar los cambios en la distribución de edades de poblaciones cazadas al azar. Cuando esta actividad no es selectiva, el intervalo de edad de la población cazada es más amplio, puesto que repercute en todas las clases de edad, y no debería variar la estructura etaria de la población (Caughley, 1977). Por el contrario, cuando la caza es selectiva, la

estructura de la población puede alterarse; por ejemplo, cuando se enfoca en los ejemplares machos corpulentos y evita a las hembras gestantes o con crías.

Además, hay que considerar el efecto de una reproducción denso-dependiente, que es común en ungulados (Clutton-Brock *et al.*, 1982). Así, la excesiva cosecha sobre una población puede estimular el aumento de su velocidad reproductiva y minimizar el efecto de la caza sobre la estructura. Esta capacidad compensatoria es más importante en especies que tienen un mayor número de crías por gestación, y es menos visible en poblaciones como primates y tapir. Por otro lado, los cazadores no suelen considerar a los animales de temprana edad como presas y, por tanto, en general, estos no son afectados directamente por la actividad. Sin embargo, la depredación natural tiende a elevar la mortalidad de individuos jóvenes y viejos, dado que son los más vulnerables (Caughley, 1977) y, de esta forma, también modera los cambios de estructura de edad causados por la caza.

Ventajas y oportunidades

La estrategia descrita de colecta de muestras biológicas de individuos abatidos por cazadores locales de subsistencia es un método que permite mejorar el conocimiento de la fauna silvestre y su ecosistema. Las principales ventajas de este son las siguientes:

- Es una colecta centrada en la actividad habitual de la caza y que valora esta actividad. Involucra a las personas que cazan y/o que cocinan, y requiere de un esfuerzo pequeño, ya que no modifica sustancialmente sus actividades rutinarias.
- Es una estrategia no invasiva que aprovecha el material biológico de ejemplares cazados, el cual es comúnmente descartado por las comunidades locales; por lo tanto, no implica la captura de animales del medio silvestre y, así, evita muertes innecesarias.
- La colecta incluye especies que son consumidas por los pobladores rurales; es decir, que se trata de especies que reciben una mayor presión antrópica a través de la caza, y que tienen una probabilidad significativa de transmitir enfermedades zoonóticas debido a su mayor contacto con los humanos. En consecuencia, precisamos tener más información sobre estas especies. Eso depende de la frecuencia de caza: cuanto más alta sea esta, mayor será su velocidad de muestreo.
- Esta colecta biológica suministra información fundamental sobre las dinámicas de población de las especies de caza en el ecosistema y, además, puede servir como verificador de los registros de caza.
- Es una estrategia relativamente sencilla y de fácil implementación por parte de los pobladores rurales, lo cual depende en gran medida de la relación que el equipo técnico establezca con ellos. Los principales requerimientos para mantener este sistema de colecta son verificar

su correcto funcionamiento y que los cazadores entiendan el objetivo de la investigación.

- Los costes de colecta son bajos y se relacionan principalmente con el traslado a las comunidades participantes, para recoger muestras y abastecer el material de colecta necesario.
- La estrategia de colecta genera un trabajo conjunto entre los investigadores y los cazadores, en el que se toman en cuenta las necesidades de ambos grupos. Así mismo, permite establecer un grado de compromiso por parte del poblador local en el futuro manejo de los recursos naturales.

Desventajas y retos

En esta sección exponemos algunos de los retos más significativos de este sistema de colecta de muestras biológicas en colaboración con pobladores rurales. A grandes rasgos, los dividimos en dos categorías: los relacionados con el tipo y la calidad de la muestra colectada, y los asociados con el trabajo colaborativo con comunidades rurales.

Desafíos relacionados con el tipo y calidad de muestras biológicas

- La colecta no podrá incluir especies que no sean consideradas presas por la población local y, por lo tanto, no

cazadas habitualmente. Por tanto, el acceso a los ejemplares muestreados está condicionado por los factores socioculturales y socioecológicos de los pobladores locales.

- Es difícil realizar la colecta de las vísceras de presas de gran tamaño o de animales que son cazados en lugares alejados de la comunidad. Es común que, en estos casos, los cazadores desechen esas vísceras en el sitio donde realizan la cacería, lo cual no permite hacerles un seguimiento a esas presas.
- La colecta puede implicar un largo tiempo de muestreo. La mayor parte de los estudios suelen ser poblacionales y, por lo tanto, requieren de un tamaño elevado de muestra. La velocidad de muestreo de cada especie depende de su presión de caza.
- La dificultad de mantener una cadena de frío puede afectar la calidad de la muestra.
- La colecta de determinadas muestras puede requerir la participación de personal especializado.

Desafíos relacionados con el trabajo colaborativo con comunidades rurales

- Es importante que el grupo de investigación tenga experiencia con comunidades y, en concreto, con la actividad de la caza.
- Debido al aislamiento geográfico de algunas comunidades, las tareas de coordinación que requiere el trabajo

pueden ser difíciles, y el acceso a las comunidades, dispendioso.

- En ocasiones, los cazadores no entienden cuál es el beneficio que ellos obtienen a través de estas actividades, y suelen exigir retribuciones económicas.
- Algunas veces este sistema de colecta puede verse comprometido al coincidir con actividades ilícitas por parte de algunos miembros de la comunidad o por parte de cazadores furtivos.
- Es complicado mantener activos los lazos colaborativos con los pobladores locales durante periodos largos de tiempo.

Conclusiones

Este artículo presenta una metodología de colecta de muestras biológicas de individuos abatidos por cazadores locales de subsistencia, como herramienta para mejorar el conocimiento biológico de la fauna silvestre y su relación con el ecosistema. La metodología permite el acercamiento de investigadores y cazadores, y la participación del comunero local en el futuro manejo de los recursos naturales, de la fauna y su hábitat.

Esta estrategia de muestreo tiene bajos costos de colecta de las muestras biológicas y permite la realización de estudios multidisciplinarios. No obstante, conlleva una serie de limitaciones, principalmente relacionadas con los métodos de conservación. En ningún caso, la metodología empleada en esta colecta debe estimular la actividad de caza en general, ni de un grupo de especies en particular. De esta forma, se debe trabajar sobre la actividad de la caza sin alterarla.

Finalmente, creemos que es obligación del equipo investigador retornar a sus colaboradores todos aquellos hallazgos que permitan enriquecer el conocimiento local de la fauna cinegética. Para ello, se debe planear una estrategia de difusión de información de una manera incluyente y accesible.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a los pobladores de la comunidad de Nueva Esperanza del río Yavari-Mirín, que han participado activa y generosamente en el proceso de colecta de muestras biológicas desde el año 2007. Su trabajo siempre ha sido inspiración para nosotros. Igualmente, queremos agradecer a Richard Bodmer, Pedro Pérez, Pablo Puertas, Miguel Antúnez, Claudia Ríos y Daniel Montes por su apoyo constante. A Melina Simoncini y a Alejandro Meléndez, por la revisión del trabajo. Esta investigación no habría sido posible sin la colaboración del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre de Perú (protocolo nº 041-2007- DGGFS-DGEFFS; 0350-2012-DGFFS-DGEFFS) y el apoyo financiero de CONCYTEC-FONDECYT, ERANet-LAC (Contrato N° 136-2018-FONDECYT y N° E035-2017-01), Fundació Autònoma Solidària (FS-XXXVI-FS1) y Global GreenGrants Funds (Contrato N° 2020-4226).

Este documento ha sido financiado en parte por la Fundación Gordon and Betty Moore Foundation, a través del proyecto GBMF9258 a Fundación Natura.

Referencias

- Andrade, R. S., Monteiro, F. O. B., El Bizri H.R., Vicente, W. R. R., Guimaraes, D. A. A. & Mayor, P. (2018). Fetal development of the Poepig's woolly monkey (*Lagothrix poeppigii*). *Journal of Theriogenology*, 110, 34-43.
- Aston, E. D., Mayor, P., Bowman, D. D., Mohammed, H. O., Liotta, J. L., Kwok, O. & Dubey, J. P. (2013). Use of filter papers to determine seroprevalence of *Toxoplasma gondii* among hunted ungulates in remote Peruvian Amazon. *International Journal of Parasitology. Parasites and Wildlife*, 3(1), 15-19.
- Aysanoa, E., Mayor, P., Mendoza, A. P., Zariquiey, C. M., Morales, E. A., Pérez J. G., Bowler, M., González, C., Ventocilla, J. A., Baldeviano, G. C. & Lescano, A. G. (2017). Prevalence of Trypanosomatids and *Trypanosoma cruzi* in wild and captive non-human primates from Perú. *Ecohealth*, 14(4), 732-742.
- Balsa, J. M., Culp, W. T. N., Drobotz, K. J., Johnson, E.G., Mayhew, P. D. & Marks, S. L. (2017). Effect of laparoscopic-assisted gastropexy on gastrointestinal transit time in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 31(6), 1680-1685.
- Bischof, K., Lamm, C., Erb, H. N. & Hillebrandt, J. R. (2008). The effects of formalin fixation and tissue embedding of bovine liver on copper, iron and zinc analysis. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 20(2), 220-224.
- Bodmer, R. E. & Pezo Lozano, E. (2001). Rural development and sustainable wildlife use in the tropics. *Conservation Biology*, 15(4), 1163-1170.
- Bowler, M., Anderson, M., Montes, D., Pérez, P. & Mayor, P. (2014). Refining reproductive parameters for modeling sustainability and extinction in hunted primate populations in the Amazon. *Plos One*, 9(4), e93625.
- Caughley, G. (1977). *Analysis of vertebrate populations*. John Wiley and Sons.
- Chapman, C. A. (2005). Primate seed dispersal: coevolution and conservation implications. *Evolutionary Anthropology*, 4(3), 74-82.
- Conga, D. F., Giese, E. G., Santos, J. N., Furtado, A. P., Serra-Freire, N. M, Bowler, M. & Mayor, P. (2016). Morphology of the *Trypanoxyuris (T.) cacajao n. sp. and T. (T.) ucayalii n. sp.* from the red uakari monkey *Cacajao calcus ucayalii* in the Peruvian Amazon. *Journal of Helminthology*, 90(4), 483-493.
- de Thoisy, B., Renoux, F. & Julliot, C. (2005). Hunting in northern French Guiana and its impact on primate communities, *Oryx*, 39(2), 149-157.
- El Bizri, H. R., Morcatty, T. Q., Valsecchi, J., Mayor, P., Ribeiro, J. E. S., Vasconcelos-Neto, C. F. A., Oliveira, J. S., Furtado, K. M., Ferreira, U. C., Miranda, C. F. S., Silva, C. H., Lopes, V. L., Lopes, G. P., Florindo, C. C. F., Chagas, R. C., Nijman, V. & Fa, J. E. (2020). Urban wild meat consumption and trade in central Amazonia. *Conserv Biol.*, 34(2):438-448.
- El Bizri, H. R., Monteiro, F. O. B., de Andrade, R. D. S., Valsecchi, L., Guimaraes, D. A. A. & Mayor, P. (2017). Embryonic and fetal morphology in the lowland paca (*Cuniculus paca*): A precocial hystricomorph rodent. *Theriogenology*, 104, 7-17.
- El Bizri, H. R., Fa, J. E., Bowler, M., Valsecchi, J., Bodmer, R. & Mayor, P. (2018). Breeding seasonality in the lowland paca (*Cuniculus paca*) in Amazonia: interactions with rainfall, fruiting, and sustainable hunting. *Journal of Mammalogy*, 99(5), 1101-1111.
- El Bizri H. R., Fa, J., Valsecchi, J., Bodmer, R. & Mayor, P. (2019). Age at sexual maturity, first parturition

- and reproductive senescence in wild lowland pacas (*Cuniculus paca*): Implications for harvest sustainability. *Animal Reproduction Science*, 205, 105-114.
- Fraser, K. W. (1985). Effect of storage in formalin on organ weights of rabbits. *New Zealand Journal of Zoology*, 12(2), 169-174.
- Gilbert-Barnes, E., Spicer, D. E. & Stefensen, T. S. (2014). *Handbook of Pediatric Autopsy Pathology* (2.^a ed.). Springer.
- Gómez-Puerta, L. A. & Mayor, P. (2017). Congenital filariasis caused by *Setaria bidentata* (Nematoda: Filarioidea) in the red brocket deer (*Mazama americana*). *Journal of Parasitology*, 103(1), 123-126.
- Gottdenker, N. & Bodmer, R. (1998). Reproduction and productivity of white-lipped and collared peccaries in the Peruvian Amazon. *Journal of Zoology*, 245(4), 423-430.
- Hamir, A. N., Galligan, D. T., Egel, J. G., Manzell K. L., Niu, H. S. & Rupprecht, C. E. (1995). Lead concentrations in frozen and formalin-fixed tissues from raccoons (*Procyon lotor*) administered oral lead acetate. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 7(4), 580-582.
- Hawes, J. E. & Peres, C. A. (2014). Fruit-frugivore interaction in Amazonian seasonally flooded and unflooded forest. *Journal of Tropical Ecology*, 30(5), 381-399.
- Hemingway, C. & Bynum, N. (2005). The influence of seasonality on primate diet and ranging. En D. K. Brockman & C. P. van Schaik (eds.). *Seasonality in primates: Studies of living and extinct human and non-human primates* (pp. 57-104). Cambridge University Press.
- Ke, M. Y., Li, R. Q. & Pan, G. Z. (1990). Gastrointestinal transit time (GITT) in normal Chinese and patients. *Zhonghua Nei Ke Za Zhi*, 29(12):723-726.
- Klotz, K. & Göen, T. (2017). Human biomonitoring of lead exposure. Metal ions in life sciences, *Metal Ions Life Science*, 17, 99-121.
- Mayor, P., Baquedano, L. E., Sánchez, E., Aramburu, J., Gómez-Puerta, L. A., Mamani, V. J. & Gavidia, M. (2015). Polycystic echinococcosis in pacas, Amazon region. *Emerging Infectious Diseases*, 21(3), 456-459.
- Mayor, P., Bodmer, R. & López-Béjar, M. (2010). Reproductive performance of the wild Collared Peccary (*Tayassu tajacu*) female in the Peruvian Amazon. *European Journal of Wildlife Research*, 56(4), 681-684.
- Mayor, P., Bodmer, R., López-Plana, C. & López-Béjar, M. (2011). Reproductive biology of the wild red brocket deer (*Mazama americana*) female in the Peruvian Amazon. *Animal Reproduction Science*, 128(1-4), 123-128.
- Mayor, P., Bowler, M. & López-Plana, C. (2012). Anatomicohistological characteristics of the tubular genital organs of the female Woolly Monkey (*Lagothrix poeppigii*). *American Journal of Primatology*, 74(11), 1006-1016.
- Mayor, P. & López-Plana, C. (en prensa). *Atlas de anatomía de especies silvestres de la Amazonía. Volumen I - Mamíferos Taxonomía de las Especies Aparato Digestivo*. EDUfra.
- Mayor, P., El Bizri, H., Bodmer, R. E. & Bowler, M. (2017). Assessment of mammal reproduction for hunting sustainability through community-based sampling of species in the wild. *Conservation Biology*, 31(4), 912-923.
- McCormack, M. A., Jackson, B. P. & Dutton, J. (2020). Effects of formalin fixation on trace element concentrations in bottlenose dolphin (*Tursiops*

- truncatus*) tissues. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39(6), 1149-1164.
- Mendes-Oliveira, A. C., de Maria, S. L., de Lima, R. C. S., Fernandes, A. S., de Almeida, P. C., Montag, L. F. & de Carvalho Jr., O. (2012). Testing simple criteria for age estimation of six hunted mammal species in the Brazilian Amazon. *Mastozoología Neotropical*, 19(1), 105-116.
- Morales, E. A., Mayor, P., Bowler, M., Aysanoa, E., Pérez-Velez, E. S., Pérez, J. G., Ventocilla, J. A., Baldeviano, G. C. & Lescano, A. G. (2017). Prevalence of *Trypanosoma cruzi* and other Trypanosomatids in wild mammals commonly hunted in the Peruvian Amazon. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 97(5), 1482-1485.
- Muehlenbein, M. P. (2006). Intestinal parasite infections and fecal steroid levels in wild chimpanzees. *American Journal of Physical Anthropology*, 130(4), 546-550. 10.1002/ajpa.20391.
- Orta-Martínez, M., Mayor, P., Cartró-Sabaté, M. & Rosell-Melé, A. (2020). Reply to: Improper estimation of lead contamination. *Nature Sustainability*, 4, 19-20.
- Pereira da Silva, G., Monteiro, F. O. B., de Souza Pereira, T. H., Rodrigues de Matos, S. E., de Andrade, R. S., Nassar Coutinho, L., Valsecchi, L., El Bizri, H. R., López Plana, C. & Mayor, P. (2020). Fetal bone development in the lowland paca (*Cuniculus paca*, Rodentia, Cuniculidae) determined using ultrasonography. *Journal of Anatomy*, 237, 105-118.
- Peres, C. A. (2000). Effects of subsistence hunting on vertebrate community structure in Amazonian forests. *Conservation Biology*, 14(1), 240-253.
- Pérez, J. G., Carrera, J. P., Serrano, E., Pitti, Y., Maguiña, J. L., Mentaberre, G., Lescano, A. G., Valderrama, A. & Mayor, P. (2019). Serologic evidence of zoonotic alphaviruses in humans from an indigenous community in the Peruvian Amazon. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 101(6), 1212-1218.
- Pukazhenth, B. S. & Wildt, D. E. (2004). Which reproductive technologies are most relevant to studying, managing and conserving wildlife? *Reproduction, Fertility and Development*, 16(1-2), 33-46.
- Robinson, J. G. & Bennett, E. L. (2000). *Hunting for Sustainability in Tropical Forests*. Columbia University Press.
- Sakai, T. (2000). Biomarkers of Lead Exposure. *Industrial Health*, 38(2), 127-142.
- Sapolsky, R. M. (2002). Endocrinology of the stress response. En J. B. Becker, S. M. Breedlove, D. Crews & M. M. McCarthy (eds.). *Behavioral endocrinology* (pp. 409-450). The MIT Press.
- Start, R., Layton, C. M., Cross, S. S. & Smith, J. H. F. (1992). Reassessment of the rate of fixative diffusion. *Journal of Clinical Pathology*, 45(12), 1120-1121.
- van Holt, T., Townsend, W. R. & Cronkleton, P. (2010). Assessing local knowledge of game abundance and persistence of hunting livelihoods in the Bolivian Amazon using consensus analysis. *Human Ecology*, 38(6), 791-801.
- van Vliet, N. & Nasi, R. (2008). Hunting for Livelihood in Northeastern Gabon: Patterns, Evolution, and Sustainability. *Ecology and Society*, 13(2), art. 33.
- Webster-Marketon, J. I. & Glaser, R. (2008). Stress hormones and immune function. *Cellular Immunology*, 252(1-2), 16-26.
- Zapata-Ríos, G., Urgil, C. & Suarez, E. (2009). Mammal hunting by the Shuar of the Ecuadorian Amazon: Is it sustainable? *Oryx*, 43(03), 375-385.

Protocolo de obtención de imágenes para detección de individuos mediante vehículos aéreos no tripulados

Gonzalo A. Pighin^{a,b}, Enrique M. Albornoz^a, Carlos I. Piña^{bc}

Resumen

La detección de individuos animales mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT) es una reciente aplicación tecnológica basada en la posibilidad de hacer un registro masivo de imágenes de gran resolución en un corto período de tiempo. Esto permite agilizar el muestreo de individuos en grandes áreas de interés y complementa las técnicas tradicionales de monitoreo. El presente protocolo tiene como finalidad explicar diferentes indicaciones y variantes existentes para la obtención y el análisis de datos, a partir de la caracterización de los individuos de interés y de la zona a ser registrada. Esto comprende la preparación de los VANT según las características requeridas en las fotografías, el método seleccionado para hacer los recorridos y el detalle del equipamiento necesario para realizar los registros y el posprocesamiento de las imágenes adquiridas.

Palabras clave: drones, fauna, monitoreo

a. Instituto de investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Artificial – sinc(i), CONICET–UNL.

b. Centro de Investigación Científica y de Transferencia Tecnológica a la Producción (CICyTTP). CONICET–Prov. ER–UADER. Correo electrónico: cidcarlos@infoaire.com.ar

c. Facultad de Ciencia y Tecnología (FCYT), Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER).

Autor de correspondencia: Carlos I. Piña. cidcarlos@infoaire.com.ar; gpighin@sinc.unl.edu.ar; emalbornoz@sinc.unl.edu.ar

Protocolo para detecção de indivíduos através da tomada de imagens por veículos aéreos não tripulados

Resumo

A detecção de indivíduos através dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) é uma aplicação tecnológica recente, baseada na possibilidade de se fazer registros de forma massiva, com imagens de alta resolução e em curtos intervalos de tempo. Desta maneira, se abre a possibilidade da utilização de VANTs para acelerar a amostragem de indivíduos de interesse que se encontrem grandes áreas, sendo uma maneira complementar às técnicas tradicionais de monitoramento. O presente protocolo tem como objetivo explicar as diferentes indicações e variáveis existentes para a coleta e análise dos dados, começando pela caracterização dos indivíduos de interesse e da área a ser registrada; na preparação dos VANTs, de acordo com as características finais exigidas nas fotografias; no método selecionado para se fazer os voos e, por fim, no detalhamento dos equipamentos necessários para se fazer o registro e pós-processamento das imagens adquiridas.

Palavras chave: drones, fauna, monitoramento

Imaging protocol for animals detection using unmanned aerial vehicles

Abstract

Animal individuals' detection through unmanned aerial vehicles (UAVs) is a recent technological application that allows a massive registry of high-resolution images in short time periods. In this way, the individual registration in large areas is possible and complement the traditional counting techniques. In this work, a global protocol for data acquisition (using UAVs) and management is presented. Some recommendations and characterizations about regarded species and geographical areas of interest are presented. In addition, the UAVs setup is addressed focusing the photographic requirements. Different flight design methods, necessary equipment and technics for image post-processing are introduced.

Key words: drones, wildlife, monitoring

Introducción

En general, el monitoreo de poblaciones de animales es una actividad que regularmente se realiza con el fin de conocer la cantidad, la distribución, los hábitos y comportamientos de individuos de una especie o de un conjunto de especies. Esto puede hacerse mediante la identificación de los individuos a partir de fotografías registradas en determinadas condiciones, incluso en proyectos de ciencia ciudadana (Balaguera-Reina *et al.*, 2020), o bien mediante su señalamiento directo o indirecto en campo.

Estas formas convencionales tienen como soporte técnicas exploratorias en hábitat y la utilización de dispositivos de movilización (vehículos tripulados, como automóviles, lanchas y helicópteros) y de registro digital o analógico (cámaras de fotografía y video, grabadores). La aplicación de estos equipos dependerá de las condiciones de trabajo designadas por el entorno o por el tipo particular de individuo de interés. Estas técnicas pueden estar complementadas por protocolos de documentación y reporte, en los que se explicitan las formas de realizar el trabajo (Barnas *et al.*, 2020).

Los dispositivos de movilización y registro de datos han mejorado con la aparición de nuevas tecnologías, se han desarrollado elementos de adquisición de muy buena calidad y a un bajo costo. Estas nuevas tecnologías han permitido, en primera instancia, mejorar la exactitud de los métodos

de adquisición de imágenes, lo que minimiza el estrés de la especie estudiada (Zemanova, 2020) y, en segundo lugar, repetir el trabajo, gracias a la relativa facilidad de acceso a estas tecnologías en comparación con años anteriores.

En la actualidad, se puede encontrar una gran variedad de sistemas de adquisición de imágenes con capacidades técnicas que permiten una mejor caracterización del sitio que se desea muestrear. Cámaras de gran resolución (20 Mpx) son utilizadas para registrar imágenes de poblaciones de fauna para, en último término, contabilizar a los individuos.

Además de la adquisición de imágenes, estos dispositivos permiten la intercomunicación entre los vehículos aéreos no tripulados (VANT) —también llamados ‘drones’— y los satélites, en creciente disponibilidad para la telecomunicación georreferenciada. Esto permite generar registros de gran precisión y exactitud en condiciones de altura específicas.

En cuanto al campo de la computación y la manipulación de datos, se observa una mejora continua en las técnicas de procesamiento gráfico e innovaciones tecnológicas que mejoran las posibilidades del análisis de imágenes (Ma *et al.*, 2019). Muchos de los sistemas de cómputo disponibles comercialmente cuentan con diversas capacidades para el procesamiento de imágenes a través de la aplicación de técnicas básicas, como el realce, el filtrado y la ecualización; también mediante técnicas computacionalmente más costosas, como el análisis morfológico,

la segmentación y –en forma añadida al procesamiento de imágenes propiamente dicho– la utilización de redes neuronales con la finalidad de aprender los patrones que permiten extraer características de los elementos de interés en la observación.

Este trabajo pretende describir un protocolo combinado que permite el registro de imágenes mediante algunos VANT; se presentan una serie de tareas que vinculan la determinación de zonas de estudio, la caracterización de muestreos, la programación de vuelos y el registro de imágenes para su posterior análisis.

Materiales y métodos

La obtención de imágenes mediante VANTs es un procedimiento que cuenta con una gran cantidad de parámetros ajustables, y deberían tener como base una serie de pasos establecidos (Figura 1). Entre estos parámetros podemos mencionar la altura de registro, inclinación de la cámara, tiempo y tamaño de apertura del obturador, la tasa de muestreo, etc. Muchos de éstos pueden ser modificados a criterio de

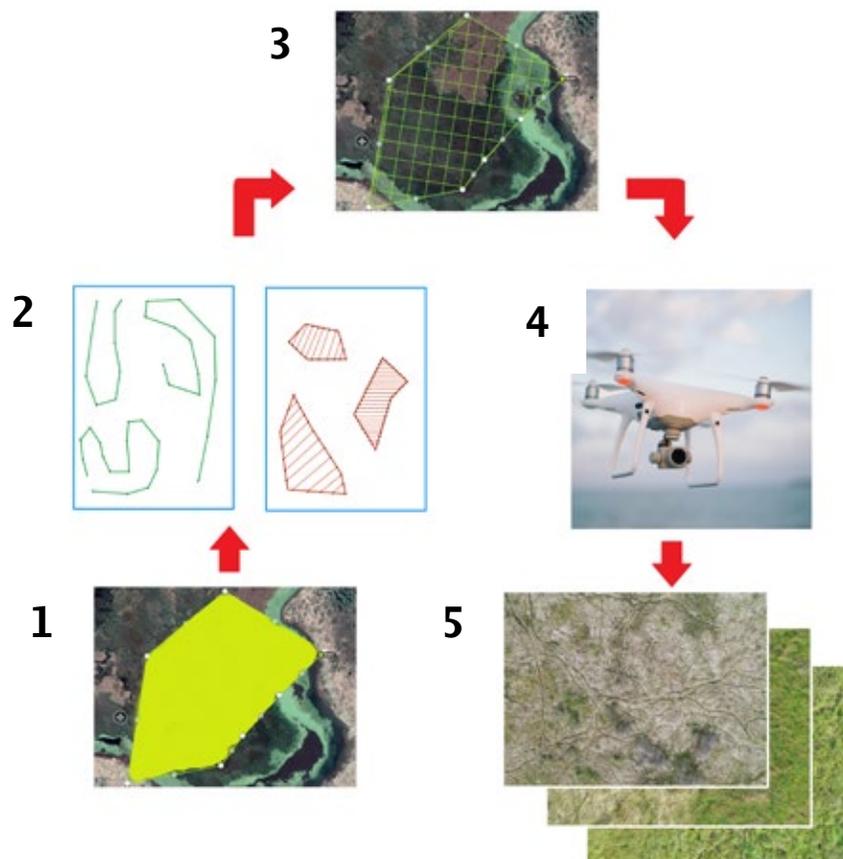


Figura 1. Etapas del protocolo. Las etapas se separan en 1. Trazado del área o zona de interés; 2. Selección del método de registro de imágenes; 3. Planificación de los vuelos; 4. Realización de los vuelos; 5. Almacenamiento y tratamiento de las imágenes para la detección de los individuos.

los investigadores y directamente sobre la cámara con la finalidad de mejorar la visibilidad o el procesamiento de las fotografías o fotogramas de video generados. Otros parámetros que no pueden ajustarse directamente, pero que sí pueden subsanarse, son los efectos del tiempo atmosférico, luminosidad solar, velocidad de desplazamiento del dron y efectos térmicos en las imágenes.

Trazado del área de estudio

En principio, se delimita la zona de monitoreo donde se realizará el estudio. Como estas regiones pueden variar en tamaño y morfología, es importante considerar algunas cuestiones con base en los criterios del estudio. Una de las primeras cuestiones se refiere a la representatividad pretendida por el muestreo; de aquí resulta el tamaño de la superficie que se va a muestrear. El nivel de exactitud de las estimaciones será mejor cuanto mayor sea el porcentaje del área monitoreada y estas "parcelas", además, deberán ser seleccionadas aleatoriamente a partir de rutas preestablecidas.

Los datos adquiridos a partir de las imágenes presentan distorsiones por corrimiento (asociadas a la movilidad de los individuos), efectos indeseados por la inestabilidad del dron y demoras entre adquisiciones de imágenes. El conocimiento previo del tamaño y de la actividad de los animales, así como de las particularidades del modelo del VANT, permite hacer consideraciones necesarias para mejorar la observación y/o posprocesamiento de las imágenes. En este punto, puede ser útil contar con

información georreferenciada de las imágenes y de su distribución temporal.

Por otro lado, el manejo de un dron para el monitoreo de individuos es también una tarea exploratoria que necesita una planificación con salidas a campo. Esto implica que mientras más vuelos se consideran y más remota o de difícil acceso es la zona a muestrear, mayor es el tiempo de trabajo y el tiempo requerido para hacer el relevamiento completo. El trazado y la topología de la zona también influyen en la dificultad de transitar una ruta, y es importante conocer los límites de la demarcación (ilegal y/o peligroso), aunque esa zona también sea de interés.

Vehículos Aéreos No Tripulados

En la actualidad los VANT tienen diferentes formatos. Existen drones de hélice o de ala giratoria (multirrotores), y de ala fija, pero también existen modelos combinados (ejemplo: Mini Drone Parrot Swing®), globos aerostáticos (Adams *et al.*, 2020) y drones subacuáticos (Butcher *et al.*, 2021) (Figura 2). Si bien todos han sido referidos en trabajos de monitoreo de fauna, los multirrotores y los de ala fija son los que gozan de mayor popularidad hoy en día para este tipo de trabajos.

Si bien no hay una gran cantidad de publicaciones que se refieran a los criterios que justifican la selección de los distintos modelos de VANT (Elmore *et al.*, 2021), se puede afirmar que la elección del VANT obedece a diversos factores, entre los que se encuentran la naturaleza del estudio que pretende

realizarse, el área de monitoreo, el tiempo de vuelo y la carga útil de vuelo (Butcher *et al.*, 2021). Otros condicionantes de elección se refieren al vuelo propiamente dicho, relacionado con factores que se pueden diferenciar en condiciones de conectividad, regulaciones y finalidades del estudio. De igual manera, la recolección de los datos puede estar influenciada por los factores

climáticos, como viento, humedad, lluvia, olas y reflexividad solar. Adicionalmente, una externalidad a considerar es la existencia de cualquier otro vehículo en el mismo medio. En el caso de estudios subacuáticos, los drones utilizados también deben tener en cuenta factores exclusivos de ese medio, como la turbidez, la profundidad y las corrientes.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los VANT de ala fija y de los multirrotores

Multirrotor		Ala fija	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
<p>Mayor control sobre el equipo</p> <p>Aterrizaje y despegue sencillos</p>	<p>Menor área de cobertura</p>	<p>Mayor área de muestreo</p>	<p>Mayor riesgo de pérdida de sustentación aerodinámica</p> <p>Necesita zona de aterrizaje y despegue</p> <p>Puede requerir una lanzadera</p>
<p>Mayor control en la toma de fotos</p> <p>El vuelo estático es mejor para el control de desplazamiento vertical</p>	<p>Menor autonomía energética</p> <p>Monitoreos lentos</p>	<p>El desplazamiento lineal optimiza el consumo de batería</p> <p>Muestreos rápidos</p>	<p>Precisa una mayor tasa de toma de fotos</p> <p>Mayor corrimiento de la fotografía o fotograma de video</p>
<p>Mejor detalle con menor altura de registro</p>	<p>Menor capacidad de carga de equipos</p>	<p>Soportan mayor peso de carga</p>	<p>Menor capacidad de detalle con mayor altura de registro</p>

Fuente: elaboración propia. Adaptado de Gómez-Gutiérrez & Gonçalves (2020); Boon *et al.* (2017)

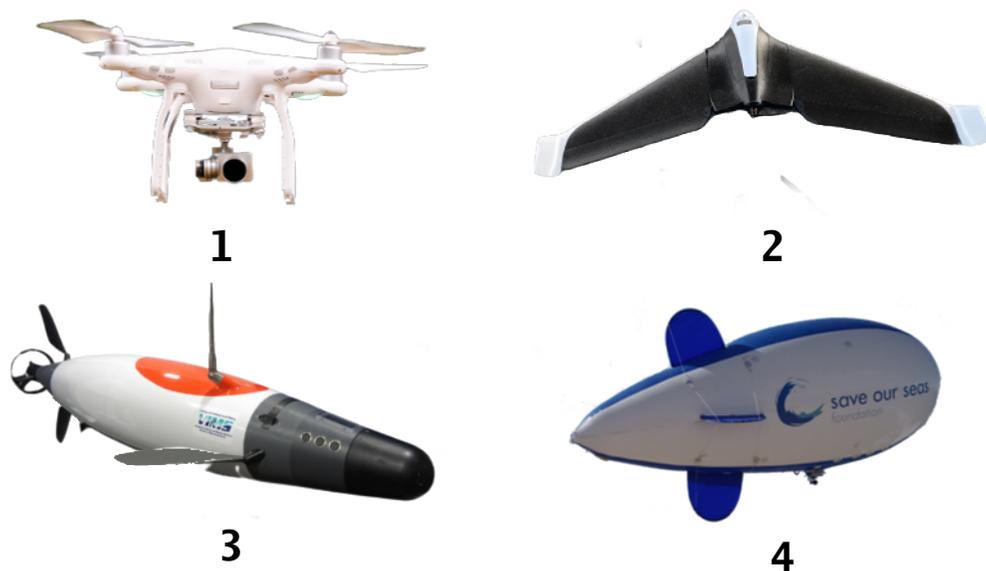


Figura 2. Modelos de dron. 1. Multirrotor (imagen tomada de Pexels - Pixabay); 2. Ala fija (Imagen provista por Lonnie McCaskill, Wildlife Conservation Society); 3. Subacuático (imagen tomada de FutureAtlas.com, con licencia Creative Commons); 4. Dirigible (imagen provista por Kye Adams, Universidad de Wollongong, Australia).

Generación de las rutas de vuelo

La generación de las rutas de vuelo depende de las características deseadas en la imagen final y del tratamiento posterior de los datos del relevamiento. En esta etapa es fundamental el conocimiento previo sobre la potencial distribución de los individuos y su comportamiento, ya que la aparición de estos en las imágenes obedece a sus hábitos de alimentación y descanso, su tamaño y su distribución espacial, la preferencia por una zona sobre otra, el nivel de resguardo de la especie bajo la vegetación, la tierra o el agua, y su actividad diurna y nocturna.

La generación de las rutas se hace mediante un software que, con base en las características de recorrido antes mencionadas, localiza puntos en un mapa digitalizado y los une mediante una curva, la

cual será la referencia de vuelo del dron para pasar por todas las zonas que deseamos estudiar. Por motivos de compatibilidad, los planos de vuelo generados suelen tener un formato exportable y la posibilidad de ser visualizados en diferentes programas de representación cartográfica.

Estas formas de generación de rutas son el método de transecta y el método poligonal. El método de transecta permite hacer un registro secuencial de fotografías a lo largo de una curva (línea transecta) previamente trazada sobre un mapa digitalizado. Mediante el método poligonal se obtiene un conjunto de fotografías que luego pueden ser combinadas para obtener una fotografía más grande de la región, denominada mosaico u ortofoto. La selección del método depende del dato que se quiere ver y de cómo se quiere ver.

El trazado del recorrido se basa en algunos de los métodos mencionados y se ajusta mediante un software de georreferencia. Los vuelos transectos disponen de una trayectoria de vuelo caracterizada por un punto de inicio, puntos intermedios unidos por medio de segmentos rectos, y un punto de terminación; además, dispone de un punto de retorno, que tiene la finalidad de facilitar el regreso del dron al punto de partida por razones de emergencia, como bajo nivel de batería o finalización de la misión programada. La mayoría de los drones multirrotores ya tienen preprogramadas algunas rutinas automáticas de emergencia para estas situaciones. Por un lado, hacen un retorno lineal cuando la batería está en un nivel considerado como peligrosamente bajo; por otro lado, en el caso de que el

nivel de batería sea crítico, el dron inicia un aterrizaje vertical, sin considerar el tipo de superficie que pueda existir en la zona. Dado que los drones de ala fija tienen programadas rutinas de aterrizaje con forma rectilínea, es fundamental tener en cuenta las condiciones topológicas del lugar, ya que este tipo de dron suele realizar aterrizajes en velocidad o con pérdida de sustentación aerodinámica, lo que pone en riesgo su integridad material.

Líneas transectas

El trazado centra su interés en un recorrido específico. Geométricamente, la transecta genera una línea de barrido con una superficie definida por la altura (Figura 3), que condiciona el ancho del área registrada en la fotografía y la longitud del



Figura 3. Recorrido por línea transecta con punto de partida y de llegada. Los números en los rectángulos indican la distancia entre los sucesivos puntos que generaron el recorrido.

recorrido. Este método produce una división de la región de estudio en múltiples transectas seleccionadas aleatoriamente, a partir de las cuales se toman muestras a fin de obtener una mejor representación de la variabilidad del espacio en la superficie total estudiada.

El método de transecta no busca generar un mapeo completo de regiones cerradas; se aconseja su aplicación cuando se tiene un conocimiento previo de lo que se puede encontrar a lo largo de su recorrido (a modo de ejemplo, ver Pereira *et al.*, en prensa). Al no generar una ortofoto, su información no se concentra en un sector concreto, sino

que permite tomar datos en una región mayor, con menor densidad de muestras por superficie e información más dispersa. Dentro de los posibles inconvenientes podemos referir los errores inducidos por el movimiento.

Poligonal

En este método se traza una línea poligonal con la finalidad de generar una gran imagen a partir de una serie de superficies adyacentes, denominada ortofoto (Figura 4). Para esto se demarca la región de estudio y se indica el nivel de solapamiento entre



Figura 4. Trazado de ruta poligonal. Los vértices marcan posiciones de cambio de dirección en la trayectoria.

las imágenes (tanto frontal como lateral). El solapamiento frontal está condicionado por la velocidad del dron y su tiempo de registro. El solapamiento lateral depende de la distancia entre transectos consecutivos, que a su vez depende de la altura de vuelo: a mayor altura, mayor separación para un mismo solapamiento. Cuanto mayor sea el solapamiento, tanto frontal como lateral, es mejor la ortofoto que se puede lograr, pero demanda más tiempo de vuelo y mayor posproceso.

La conformación del mosaico final u ortofoto se realiza mediante el ordenamiento de las imágenes en forma adyacente según su posición en el polígono de muestreo o el ordenamiento durante el vuelo. De esta manera, la composición de todas las imágenes genera una imagen con la forma del polígono creado, y su resultado es el mosaico final. El hecho de que la ortofoto sea el producto de la unión de diversas imágenes hace que exista una temporalidad diferente entre todas ellas y, por lo tanto, un riesgo de generar errores en la información cuando se realiza el muestreo. Además, suelen aparecer algunos problemas propios de la construcción de la ortofoto, como son el registro repetido de los destellos lumínicos solares en monitoreos durante o próximos al mediodía, el oleaje producto del viento, y la generación de zonas truncadas por la dificultad que presentan los mosaicos de agua al ser ubicados (Aubert *et al.*, 2021). Otros posibles inconvenientes son causados por los huecos o por el mal solapamiento entre imágenes, lo que distorsiona la información en el mosaico final; no obstante, este error

puede resolverse con repetición de vuelos sobre la región que se desea estudiar.

El método de los polígonos es de mucha utilidad para el caso particular de la observación de elementos estáticos (nidos, plantas) y para determinar su densidad y posición (Scarpa & Piña, 2019). Se puede obtener una muestra representativa de una gran región a partir del análisis de varios polígonos distribuidos aleatoriamente en la región de estudio.

Realización de los vuelos

Una vez identificada la zona, los criterios del muestreo y el método elegido, se procede a la selección de los trayectos. Estos se encuentran representados por las transectas seleccionadas previamente.

Las transectas se toman en una cantidad estadísticamente representativa, a partir de una división equiespaciada de la superficie a muestrear, o bien mediante polígonos separados bajo el mismo criterio.

Los vuelos se inician con el conocimiento preciso de las rutas seleccionadas. Si bien la comunicación entre el dron y los satélites que mantienen sus coordenadas georreferenciadas hace que las rutas sean transitadas con un mínimo de error, es necesario que la preparación del vehículo se haga de forma ordenada y tenga todas las revisiones pertinentes, con el propósito de salvaguardarlo de posibles inconvenientes y de mantener organizado el trabajo en sus diferentes instancias.

Para cualquiera de los modelos seleccionados en el estudio, recomendamos realizar

y actualizar un registro de las fechas de adquisición de las baterías y, en el mejor de los casos, un registro continuo de su utilización y del nivel de carga. La capacidad de todas las baterías no solo disminuye con el tiempo, sino que estas también sufren variaciones en la curva de descarga, lo que hace más difícil anticipar su rendimiento real.

Procesamiento de imágenes

Los VANT guardan las imágenes durante el tiempo de muestreo, generalmente en dispositivos de memoria flash, como tarjetas micro SD. Estas imágenes pueden transferirse posteriormente a una computadora, donde son procesadas. Las fotografías obtenidas a través del método poligonal pueden armarse mediante servicios de reconstrucción en la nube y mediante programas específicos con esa funcionalidad, para así formar el mosaico final. Estos servicios no suelen incluir métodos de corrección de imágenes, por lo que su tratamiento debe ser considerado como una tarea adicional.

Resultados esperados

Al final de un estudio exitoso se cuenta con un set de imágenes obtenidas a partir de rutas de vuelo previamente trazadas y sin errores de posición considerables. Según el tipo de estudio, podemos contar con un conjunto de imágenes que deben juxtaponerse para la conformación de la ortofoto (método poligonal), o bien con las imágenes de los transectos.

Interpretación y análisis de errores

Los errores pueden separarse en dos grupos:

- Errores en tiempo de adquisición: incluyen corrimiento de la fotografía, saturación, datos incompletos. Estos errores se analizarán en función de los efectos que el investigador logre observar en las fotos, y pueden ser corregidos variando los modos de trabajo del dron y su sistema de adquisición (Figura 5).



Figura 5. Errores en tiempo de adquisición: 1. Saturación de la imagen; 2. Corrimiento de la fotografía (imagen movida); 3. Datos incompletos.

- Errores en tiempo de detección: incluyen doble conteo, falsos negativos (FN) y falsos positivos (FP). Estos errores deben ser previamente caracterizados para darles un correcto tratamiento y así lograr que el sistema de conteo sea lo más cercano a la 'verdad a nivel del suelo', que es el nivel de certidumbre en que los expertos coinciden al contar individuos manualmente en las imágenes (Figura 6). Los errores de detección, entonces, pueden clasificarse según el siguiente ordenamiento:

Errores por Falsos Positivos. Se cuenta un individuo en un lugar donde no hay.

- Identificación errónea: muy poco frecuente. Ocurre cuando el sistema de detección confunde un elemento y lo toma como si fuera un ejemplar de interés, y lo cuenta como tal.

Errores por doble conteo. Se pueden clasificar como FN o FP, según el caso.

- Áreas solapadas: un individuo se cuenta más de una vez debido a que el solapamiento entre imágenes obtenidas lo considera dos veces, lo que introduce un FP.
- Movimiento: un individuo ingresa en un área que va a ser muestreada después

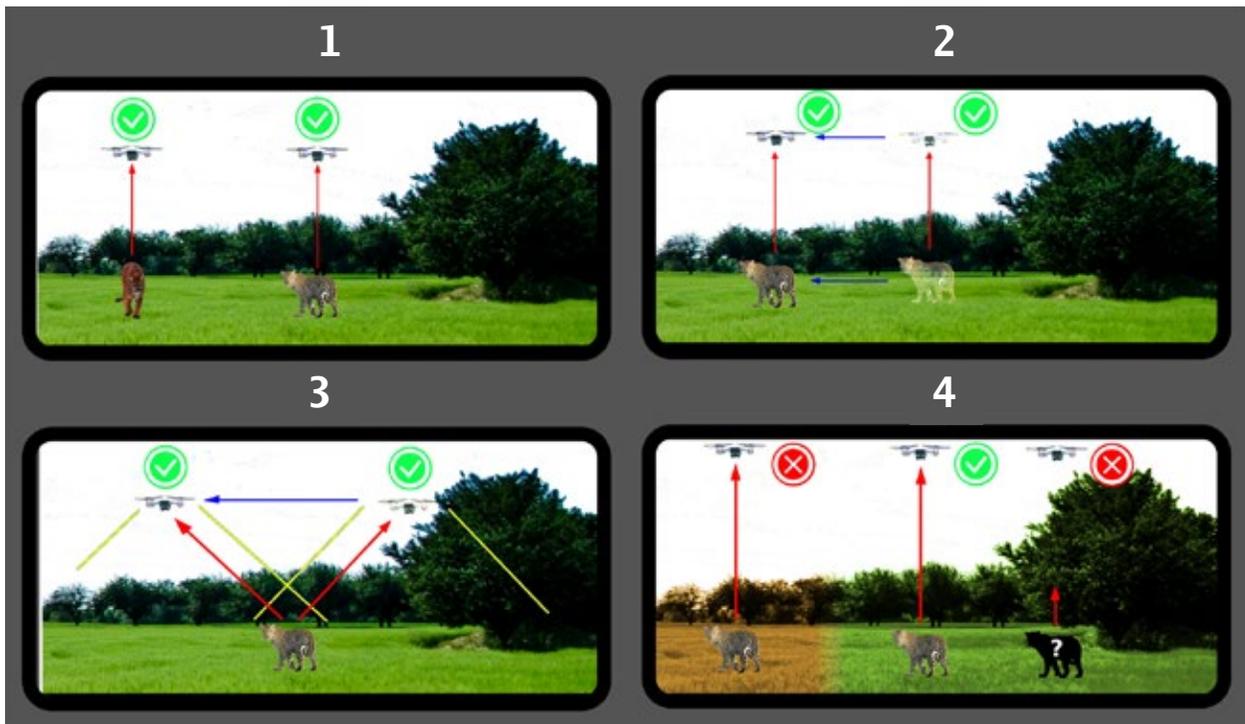


Figura 6. Errores en tiempo de detección: 1. Error por falso positivo (FP): se cuenta un individuo erróneamente; 2. Doble conteo por movimiento del individuo; 3. Doble conteo por solapamiento de áreas de muestreo; 4. Error por falso negativo (FN): no se cuentan individuos por no estar disponibles o por no poder diferenciarlos de su entorno.

de salir de un área ya muestreada, lo que genera dos (o más) registros del mismo individuo y produce un FP en cada recuento extra realizado. Puede ocurrir también que un individuo no muestreado se retire del área que va a ser muestreada y se desplace a un área que no va a ser muestreada, y cause un FN al no registrarse.

Errores por Falsos Negativos. No se contabiliza un ejemplar de interés que realmente sí se encuentra ahí.

- **Disponibilidad:** un ejemplar de interés sumergido en el agua o cubierto por la vegetación puede no ser identificado y contabilizado. Lo mismo ocurre con animales que se desplazan desde lugares donde aún no se han registrado imágenes hacia zonas ya analizadas.
- **Percepción:** ocurre cuando, habiendo disponibilidad de ejemplares de interés para ser detectados en imágenes, hay alguna falla en la detección debido al cansancio del observador durante la contabilización manual, o a un algoritmo, principalmente por problemas de bajo contraste, altura de vuelo y resolución de la cámara.

Tratamiento de errores

Los errores referidos tienen diferentes tratamientos según su origen. Pueden ser abordados mediante métodos estadísticos (N-mezcla) (Brack *et al.*, 2018), que señalan los individuos encontrados en vuelos hechos repetidamente sobre una misma zona. No obstante, dependiendo del caso

concreto, pueden llegar a evitarse o disminuirse según los ajustes hechos al VANT.

Errores por FP: Son escasos y dependen de la experticia del observador, por lo tanto, marcan el límite de la “verdad a nivel del suelo”. En este caso suele apelarse a la opinión conjunta de los expertos o a la implementación de un sistema experto automatizado.

Errores por FN: Los errores por “disponibilidad” dependen del animal de interés, de sus hábitos y de las características del entorno que habita y, por lo tanto, de su existencia bajo follaje, elevaciones, agua o embalsados. Al no ser individuos visibles, la repetición de registros hechos sobre la misma zona puede hacer evidente su presencia, sobre todo si se cuenta con información auxiliar de referencia, como los puntos y tiempos de los registros realizados. De otro modo, es necesaria la implementación de una tecnología diferente (ej: cámara térmica), o se deben realizar acercamientos o mejorar la resolución de la cámara. En el caso de errores de “percepción”, es recomendable que varios expertos realicen el conteo.

Doble conteo: En el caso de “áreas solapadas”, la información de referencia, tiempo y solapamiento pueden ayudar a la identificación de un individuo doblemente muestreado. En el caso de “movimiento” de los animales dentro y fuera de la región de muestreo, no hay formas claras para el tratamiento del error, pero algunos autores han postulado el diseño de trayectorias de vuelo en franjas separadas (Chrétien *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, en prensa).

Ventajas

Hay una gran variedad de ventajas en la utilización de los VANT para el monitoreo de fauna. Entre las ventajas más destacables de los drones frente al uso de técnicas clásicas se pueden mencionar:

- menor costo de adquisición, uso y traslado (Scarpa & Piña, 2019; Aubert *et al.*, 2021);
- mayor seguridad para el usuario (Aubert *et al.*, 2021);
- posibilidad de investigar especies peligrosas o difíciles de abordar (Butcher *et al.*, 2021);
- menor tiempo en el registro de las imágenes debido al procedimiento automatizado por el dron;
- mayor repetitividad de los estudios (Cleguer *et al.*, 2021);
- minimización del estrés causado a la fauna, en comparación con vehículos aéreos tripulados (Aubert *et al.*, 2021);
- método no invasivo (Zemanova, 2020);
- mejor resolución que otros métodos clásicos (Aubert *et al.*, 2021);
- gran tasa de éxito en completar vuelos autónomos (Aubert *et al.*, 2021) con buena estabilidad de los registros;
- manejo sencillo (Aubert *et al.*, 2021).

Desventajas

La creciente utilización de los VANT también enfrenta algunos desafíos. Si bien sus controles presentan un esquema sencillo, poseen muchas opciones configurables, por lo que no debe subestimarse cierta complejidad en su manipulación. Entre las desventajas podemos enumerar:

- Es necesario una experiencia de uso para familiarizarse con el control del equipo y su sensibilidad. La caída ocasional del VANT en pleno vuelo conlleva su destrucción o la rotura de sus elementos, y en algunos casos se puede perder definitivamente debido a la difícil localización o acceso (Croft *et al.*, 2007).
- El uso de baterías es otro factor que debe ser considerado, ya que la capacidad de realizar vuelos exitosos depende estrictamente del rendimiento de estas.
- En cuanto a las imágenes, la calidad de la información recabada en los muestreos depende de las condiciones atmosféricas. La claridad de las imágenes está sujeta al nivel de humedad del ambiente, a las condiciones de lluvia, neblina o viento y también a sus efectos sobre el VANT. Si este no posee gran estabilidad o se enfrenta a condiciones extremas de viento, se compromete la correcta visibilidad de las imágenes resultantes.
- Vinculado al propio funcionamiento del VANT, es recomendable mantener la conectividad entre este, el mando manual

y/o los sistemas de referenciación automática para su posicionamiento, con los cuales tiene una comunicación continua, a fin de evitar accidentes (Butcher et al., 2021).

- Hay restricciones legales de uso dependiendo del país; la manipulación de los drones es legal hasta el límite aéreo donde puede ser visibilizado (Cleguer et al., 2021), o existen espacios aéreos que requieren una licencia para su uso.
- Más allá de los efectos legales del uso de un dron (Clarke, 2014), siempre existe el riesgo de que estos sean derribados o, incluso, atacados por animales, como es el caso de ciertas aves (Rebolo et al., 2019). Los drones también pueden generar perturbaciones que inducen estrés y provocan la huida de los animales que se desea estudiar (Duporge et al., 2021).
- Finalmente, existen desventajas propias del uso de modelos concretos de dron. En el caso de los monitoreos de animales, los drones multirrotor suelen ser preferidos sobre los drones de ala fija debido a su mejor adaptación a los entornos agrestes y a su mayor precisión en la identificación de puntos fijos (Boon et al., 2017).

Puntos críticos

Existen algunos puntos fundamentales que deben considerarse para lograr una adecuada preparación, obtención y

tratamiento de los datos. Esto es crítico para mejorar la calidad del trabajo realizado:

- Generación de la ortofoto, relacionada con los efectos de iluminación y la homogeneización de las imágenes: cuando los bordes de la imagen tienen características poco conspicuas (caso usual: fotos en superficies de agua) se vuelve complejo el posicionamiento de los mosaicos entre sí.
- Reconstrucción de la trayectoria: cuando no hay una continuidad en la adquisición de las imágenes, debido a razones de bajo nivel de batería o emergencia, se deben completar las trayectorias con vuelos manuales, en el menor tiempo posible.
- Selección del dron: debe realizarse según las características de la información requerida por el grupo de trabajo.
- Definición de la metodología de monitoreo: debe seleccionarse según el objetivo del estudio. El método por polígonos es preferible únicamente en el caso de observación de elementos estáticos, como nidos, plantas o elementos sin vida.

Expectativas a futuro

El uso de drones en el monitoreo de fauna está aumentando aceleradamente en estudios que caracterizan la distribución de poblaciones de vida libre (Nowak et al., 2018). Esto se debe en parte a que este ha sido probado y verificado exitosamente múltiples veces como un método que mejora los resultados obtenidos en las salidas

exploratorias al nivel del suelo. Sin embargo, según la información que se quiere obtener, algunas veces es preferible utilizar las cámaras trampa y no los registros aéreos (Rahman & Rahman, 2021) o los registros mediante drones en lugar de los registros en tierra (Hodgson *et al.*, 2016; Beaver *et al.*, 2020). La tecnología en sistemas de adquisición también es amplia, y además de la mejora en la resolución, existen diferentes aplicaciones según el rango del espectro radioeléctrico que se desea adquirir. De esta manera, aunque la mayoría de los estudios se efectúan mediante cámaras RGB (Scarpa & Piña, 2019; Aubert *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, en prensa), existen trabajos que enfatizan el uso de cámaras térmicas (Rahman *et al.*, 2020) y proponen el empleo de cámaras hiperespectrales (Lausch *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2020) y LIDAR (Butcher *et al.*, 2021); estas dos últimas tecnologías, además de un mejor detalle de imagen, permiten la detección de puntos calientes y la medición de la distancia entre estos y el equipo de adquisición, respectivamente. El uso de estas tecnologías genera un mayor caudal de información sobre la fauna.

Finalmente, existen múltiples posibilidades de mejora en la rapidez y exactitud de los monitoreos de poblaciones de animales y vegetales mediante modelos de detección basados en visión computacional e inteligencia artificial (Kellenberger *et al.*, 2021; Onishi & Ise, 2021).

Conclusiones

Presentamos un protocolo de muestreo poco invasivo para animales distribuidos en una región geográfica de interés. Estos métodos permiten realizar caracterizaciones y estimaciones sobre la existencia de animales, o de sus vestigios, mediante una detección rápida in situ, con VANT de diferentes modelos y diversas técnicas. Esta nueva tecnología nos abre la posibilidad de hacer monitoreos rápidos, lo que genera gran cantidad de información y minimiza daños o estrés sobre los ejemplares. Asimismo, es un método de bajo costo en comparación con otros métodos tradicionales.

Finalmente, el uso de drones en el muestreo de animales aún es un campo de experimentación constante, por lo que las evidencias de su utilización en diferentes situaciones generan precedentes para su aplicabilidad, los cuales son necesarios para la realimentación y el mejoramiento de los protocolos.

Agradecimientos

Este documento ha sido financiado en parte por la Fundación Gordon and Betty Moore Foundation, a través del proyecto GBMF9258 a Fundación Natura.

Material complementario

Como material complementario a este trabajo se puede revisar el material videográfico compartido en el canal de Youtube de taller de drones "Drones Workshop" (www.youtube.com/channel/UC59NoGIQopqWq88dhtp-nMw), donde se pueden encontrar presentaciones sobre la aplicación de estos artefactos para el monitoreo y la conservación de la fauna.

Referencias

Adams, K., Broad, A., Ruiz-García, D. & Davis, A. R. (2020). Continuous wildlife monitoring using blimps as an aerial platform: a case study observing marine megafauna. *Australian Zoologist*, 40(3), 407-415. <https://doi.org/10.7882/AZ.2020.004>

Aubert, C., Le Moguec G., Assio, C., Blatrix, R., Ahizi, M. N., Hedegbetan, G. C., Kpera, N. G., Lapeyre, V., Martin, D., Labbé, P. & Shirley, M. (2021). Evaluation of the use of drones to monitor a diverse crocodylian

assemblage in West Africa. *Wildlife Research*, WR20170. <https://doi.org/10.1071/WR20170>

Balaguera-Reina, S. A., Pinzón-Barrera, C., Farfán-Ardila, N., Vargas-Ortega, D. & Densmore, L. D. III. (2020). Individual identification patterns as a monitoring strategy for American crocodiles: Tayrona National Natural Park as a study case. *Amphibia-Reptilia*, 42(1), 73-80. <https://doi.org/10.1163/15685381-bja10033>

Barnas, A. F., Chabot, D., Hodgson, A. J., Johnston, D. W., Bird, D. M. & Ellis-Felege, S. N. (2020). A standardized protocol for reporting methods when using drones for wildlife research. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 8(2), 89-98. <https://doi.org/10.1139/juvs-2019-0011>

Beaver, J. T., Baldwin, R. W., Messinger, M., Newbolt, C. H., Ditchkoff, S. S. & Silman, M. R. (2020). Evaluating the use of drones equipped with thermal sensors as an effective method for estimating wildlife. *Wildlife Society Bulletin*, 44(2), 434-443. <https://doi.org/10.1002/wsb.1090>

Boon, M. A., Drijfhout, A. P. & Tesfamichael, S. (2017). Comparison of a fixed-wing and multi-rotor UAV for environmental mapping applications: A case study. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W6, International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, 47-54. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-47-2017>

Brack, I. V., Kindel, A. & Oliveira, L. F. B. (2018). Detection errors in wildlife abundance estimates from Unmanned Aerial Systems (UAS) surveys: Synthesis, solutions, and challenges. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(8), 1864-1873. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13026>

Butcher, P. A., Colefax, A. P., Gorkin, R. A., Kajiura, S. M., López, N., Mourier, J., Purcell, C. R., Skomal,

- G. B., Tucker, J. P., Walsh, A. J., Williamson, J. E. & Raoult V. (2021). The drone revolution of shark science: A review. *Drones*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.3390/drones5010008>
- Chrétien, L. P., Théau, J. & Ménard, P. (2016). Visible and thermal infrared remote sensing for the detection of White-tailed deer using an Unmanned Aerial System. *Wildlife Society Bulletin*, 40(1), 181-191. <https://doi.org/10.1002/wsb.629>
- Clarke, R. (2014). The regulation of civilian drones' impacts on behavioural privacy. *Computer Law & Security Review*, 30(1), 286-305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clsr.2014.03.005>
- Cleguer, C., Kelly, N., Tyne, J., Wieser, M., Peel D. & Hodgson A. (2021). A novel method for using small unoccupied aerial vehicles to survey wildlife species and model their density distribution. *Frontiers in Marine Science*, 8, 640338. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.640338>
- Croft, J. L., Pittman D. J. & Scialfa C. T. (2007). Gaze behavior of spotters during an air-to-ground search. *Human Factors*, 49(4), 671-678. <http://dx.doi.org/10.1518/001872007X215746>
- Duporge, I., Spiegel, M. P., Thomson, E. R., Chapman, T., Lamberth, C., Pond, C., Macdonald, D. W., Wang, T., Klinck, H. (2021). Determination of optimal flight altitude to minimise acoustic drone disturbance to wildlife using species audiograms. *Methods in Ecology and Evolution*, 00, 1-12. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13691>
- Elmore, J. A., Curran, M. F., Evans, K. O., Samiappan, S., Zhou, M., Pfeiffer, M. B., Blackwell, B. F. & Iglay, R. B. (2021). Evidence on the effectiveness of small unmanned aircraft systems (sUAS) as a survey tool for North American terrestrial, vertebrate animals: a systematic map protocol. *Environmental Evidence*, 10, 15. <https://doi.org/10.1186/s13750-021-00228-w>
- Gómez-Gutiérrez, A. & Gonçalves, G. R. (2020). Surveying coastal cliffs using two UAV platforms (multirotor and fixed-wing) and three different approaches for the estimation of volumetric changes. *International Journal of Remote Sensing*, 41(2), 1-33. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2020.1752950>
- Hodgson, J. C., Baylis, S. M., Mott, R., Herrod, A. & Clarke, R. H. (2016). Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific Reports*, 6(1), 22574. <http://dx.doi.org/10.1038/srep22574>
- Kellenberger, B., Veen, T., Folmer, E. & Tuia, D. (2021). 21 000 birds in 4.5 h: efficient large-scale seabird detection with machine learning. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7(3), 445-460. <https://doi.org/10.1002/rse2.200>
- Lausch, A., Erasmí, S., King, D. J., Magdon, P. & Heurich M. (2016). Understanding forest health with remote sensing –Part I—A review of spectral traits, processes and remote-sensing characteristics. *Remote Sensing*, 8, 1029. <https://doi.org/10.3390/rs8121029>
- Liu, H., Bruning, B., Garnett, T. & Berger, B. (2020). Hyperspectral imaging and 3D technologies for plant phenotyping: From satellite to close-range sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105621. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105621>
- Ma, L., Liu, Y., Zhang, X., Ye, Y., Yin, G. & Johnson, B. A. (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>
- Nowak, M. M., Dziób, K. & Bogawsky, P. (2018). Unmanned aerial vehicles (UAVs) in environmental biology: a review. *European Journal of Ecology*, 4(2), 56-74. <https://doi.org/10.2478/eje-2018-0012>

Onishi, M. & Ise, T. (2021). Explainable identification and mapping of trees using UAV RGB image and deep learning. *Scientific Reports*, 11, 903. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79653-9>

Pereira, J. A., Varela, D., Scarpa, L. J., Frutos, A. E., Fracassi, N. G., Lartigau, B. V. & Piña C. I. (en prensa). Drone-based surveys reveal an unexpectedly high density of a threatened deer in a plantation forestry landscape. *Oryx*.

Rahman, D. A., Setiawan, Y., Wijayanto, A. K., Rahman, A. A. A. F. & Martiyani, T. R. (2020). An experimental approach to exploring the feasibility of unmanned aerial vehicle and thermal imaging in terrestrial and arboreal mammals research. *E3S Web of Conferences*, 211, 02010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102010>

Rahman, D. A. & Rahman, A. A. A. F. (2021). Performance of unmanned aerial vehicle with thermal imaging, camera trap, and transect survey for monitoring of wildlife. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 771, 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/771/1/012011>

Rebolo, N., Graña Grilli, M. & Lambertucci, S. A. (2019). Drones as a threat to wildlife: YouTube complements science in providing evidence about their effect. *Environmental Conservation*, 46(3), 1-6. <https://doi.org/10.1017/S0376892919000080>

Scarpa, L. J. & Piña, C. I. (2019). The use of drones for conservation: A methodological tool to survey caimans nests density. *Biological Conservation*, 238, 108235. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108235>

Zemanova, M. A. (2020). Towards more compassionate wildlife research through the 3Rs principles: moving from invasive to non-invasive methods. *Wildlife Biology*, 1, wlb.00607. <https://doi.org/10.2981/wlb.00607>

Caracterización y aprovechamiento de carne y grasa de reptiles provenientes de programas de manejo sustentable

Pamela M. L. Leiva^{a,b,c}, Florencia E. Valli^{a,b,c}, Carlos I. Piña^{a,b,c},
Marcela A. González^d, Melina S. Simoncini^{a,b,c}

Resumen

En muchas regiones, diversas especies de reptiles se asocian al patrimonio cultural de estas zonas. En algunos casos estos animales suelen percibirse como sagrados y, en otros, como tabúes relacionados con unas ideas negativas debidas a leyendas y creencias populares; todo esto restringe su consumo. Sin embargo, los pueblos originarios les atribuyen propiedades medicinales y valores nutricionales, aunque sin fundamento científico. Existen antecedentes de pobladores que utilizan la carne de lagartos, caimanes y serpientes como alimento y la grasa con fines medicinales. Los programas de manejo de reptiles suelen tener como objetivo la obtención y comercialización de su cuero. No obstante, la viabilidad de la sustentabilidad de dichos programas está condicionada por el valor en el mercado de los subproductos de las especies manejadas. Por lo cual, productos alternativos, como la carne y la grasa, suponen una opción para fortalecer la sostenibilidad económica de los programas de uso integral de reptiles. En Argentina existen tres especies de reptiles que son manejadas: el yacaré overo (*Caiman latirostris*), el lagarto overo (*Salvator merianae*) y curiyú (*Eunectes notaeus*). El uso de los subproductos alternativos de estas especies incrementa el retorno económico para los programas de uso sustentable y conservación de las especies y, además, podría ser replicado en otras escalas y con otras especies. Este capítulo describe la metodología que utilizamos para estudiar las características fisicoquímicas y organolépticas de las carnes, y para caracterizar las grasas y el aceite; además, compara los métodos de obtención del aceite, y expone los posibles usos de estos nuevos subproductos de especies de reptiles manejadas en Argentina.

Palabras clave: boa, caimán, caza, lagarto, rancheo

^aCiCyTTP-CONICET/Prov. Entre Ríos/UADER, España 149, CP 3105 Diamante, Entre Ríos, Argentina.

^bProyecto Yacaré, Laboratorio de Zoología Aplicada: Anexo Vertebrados, FHUC/UNL, Aristóbulo del Valle 8700, CP 3000 Santa Fe, Santa Fe, Argentina.

^cFacultad de Ciencia y Tecnología/UADER, Tratado del Pilar 314, CP 3105 Diamante, Entre Ríos, Argentina.

^dDepartamento de Ciencias Biológicas, Cátedra de Bromatología y Nutrición, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Litoral, Ciudad Universitaria, CP 3000 Santa Fe, Santa Fe, Argentina.

Autor de correspondencia: Pamela Leiva. pameleiva4@gmail.com; florr.valli@gmail.com;
cidcarlos@infoaire.com.ar; maidagon@fbc.unl.edu.ar; melinasimoncini22@yahoo.com.ar

Caracterização e utilização de carne e gordura de répteis a partir de programas de manejo sustentável

Resumo

Várias espécies de répteis estão geralmente associadas ao patrimônio cultural de muitas regiões. Estes animais são frequentemente percebidos como sagrados e, em outros casos, como tabu, ou têm uma imagem negativa devido a lendas e crenças populares, o que restringiria seu consumo. Entretanto, o uso de répteis pode ser impulsionado por suas propriedades medicinais e valores nutricionais percebidos, gerados através da cultura dos povos nativos, embora sem base científica. Há uma história de uso da carne de lagartos, jacarés e cobras para alimentação e da gordura para fins medicinais. Particularmente, os programas de répteis estão focados na obtenção e comercialização do couro da espécie. O valor de mercado de uma espécie condiciona a possibilidade de realizar e manter um programa de uso sustentável. Portanto, estudar e promover produções alternativas, como carne e gordura, oferece a oportunidade de desenvolver e aproveitar outros subprodutos que ainda não foram explorados, fortalecendo programas de uso sustentável através do uso integral da espécie, tornando-os assim mais rentáveis. Na Argentina, há três espécies de répteis que são manejadas, Jacaré-do-papo-amarelo (*Caiman latirostris*), Teiú (*Salvator merianae*) e Sucuri (*Eunectes notaeus*). Assim, avaliações de possíveis aplicações ou usos de subprodutos não utilizados derivados destas espécies não apenas aumentariam o retorno econômico para o programa de uso sustentável e conservação das espécies, mas também dariam origem a novas atividades que poderiam ser realizadas em nível local, regional, nacional e até internacional, uma vez que os resultados poderiam ser replicados em outros países com outras espécies de répteis. Portanto, este capítulo descreve a metodologia utilizada para estudar a adequação da carne a ser consumida, para avaliar as características físico-químicas e organolépticas da carne, para caracterizar as gorduras e comparar os métodos de obtenção do óleo, bem como para determinar suas características e usos possíveis, e o desenvolvimento comercial potencial destes novos subprodutos derivados de espécies de répteis manejadas na Argentina.

Palavras chave: Caça, jacaré, lagarto, rancheo, sucuri.

Characterization and use of reptile meat and fat from sustainable management programs

Abstract

Several reptile species are generally associated with the cultural heritage of many regions. These animals are often perceived as sacred and, in other cases, taboo, or have a negative image due to popular legends and beliefs, which would restrict their consumption. However, the use of reptiles may be driven by their medicinal properties and perceived nutritional values, generated through the culture of local people, but without scientific basis. There is a history of local people using the meat of lizards, caimans and snakes for food and the fat for medicinal purposes. Particularly, reptile programs are focused on obtaining and marketing the skins of the species. The market value of a species conditions the possibility of carrying out and maintaining a sustainable use program. Therefore, studying and promoting alternative productions, such as meat and fat, provides the opportunity to develop and exploit other by-products that have not yet been explored, strengthening sustainable use programs through the integral use of the species, thus making them more profitable. In Argentina, there are three reptile species managed by programs, Broad snouted Caiman (*Caiman latirostris*), Black and white Tegu (*Salvator merianae*) and Yellow Anaconda (*Eunectes notaeus*). Thus, evaluations of possible applications or uses of unused by-products derived from these species would not only increase economic return for the program of sustainable use and conservation of those species, but would also give start to new activities that could be undertaken at local, regional, national and even international scale, as the results could be replicated in other countries with other reptile species. Therefore, this chapter describes the methodology used to study the suitability of the meat for consumption, to evaluate the physico-chemical and organoleptic characteristics of the meat, to characterize fats and compare methods of obtaining the oil, as well as to determine its characteristics and possible uses, and the potential commercial development of these new by-products derived from reptile species under management in Argentina.

Key words: alligator, boa, hunting, lizard, ranching.

Introducción

Son numerosos los ejemplos en los que la sobreexplotación de la fauna silvestre con fines comerciales ha llevado al declive de sus poblaciones. Particularmente en Argentina, varias especies de reptiles fueron cazadas de forma indiscriminada durante el siglo XIX y la primera mitad del XX (Bertonatti & Corcuera, 2000). Basta mencionar que millones de cueros de lagartos (*Salvator rufescens* y *Salvator merianae*), boas (*Boa constrictor occidentalis* y *Eunectes notaeus*) y caimanes (*Caiman yacare* y *Caiman latirostris*), entre los más importantes, fueron acopiados y comercializados con Europa durante ese período (Bolkovic & Ramadori, 2006). Esta sobreexplotación tuvo su fin con la formalización de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres

(CITES), la cual regula la comercialización de estas especies y sus subproductos a nivel provincial y nacional.

Actualmente, la Dirección de Fauna Silvestre (DFS) de la Nación Argentina considera el uso sustentable de la fauna silvestre como una herramienta que, si es bien utilizada, permite emprender acciones de conservación, tanto de las especies en particular como de sus ambientes en general (Ramadori, 2006). En este país existen diferentes planes de manejo y programas de uso sustentable de fauna silvestre; en el caso específico de los reptiles están: Proyecto Yacaré, Yacaré Porá, Caimanes de Formosa, Proyecto Tupinambis y Proyecto Curiyú (Figura 1). Estos programas no solo diseñan y aplican diferentes técnicas de manejo para el aprovechamiento sustentable de la fauna silvestre, sino que también incorporan acciones concretas de conservación y protección de los hábitats.



Figura 1. Reptiles utilizados para la obtención de carnes y grasas en Argentina. 1. Individuos de yacaré overo (*Caiman latirostris*) juveniles en cautiverio pertenecientes al programa de uso sustentable y conservación "Proyecto Yacaré", Santa Fe. 2. Individuo silvestre de lagarto overo (*Salvator merianae*) en Santa Fe. 3. Individuo silvestre de curiyú (*Eunectes notaeus*) en Formosa.

El valor de los subproductos de una especie en el mercado condiciona la viabilidad de un programa de manejo y uso sustentable. Los programas de manejo de reptiles suelen tener como objetivo la obtención y comercialización de su cuero. Por esta razón, productos alternativos, como la carne y la grasa, suponen un apoyo a la sostenibilidad económica de este tipo de programas de uso integral de reptiles. Estas acciones podrían financiar estudios biológicos, medidas de control y fiscalización de su captura y comercialización, readecuación de medidas de manejo y, fundamentalmente, generación de medidas de conservación a largo plazo. Asimismo, el desarrollo y aprovechamiento de los subproductos alternativos de reptiles provenientes de planes de manejo sustentables puede suponer una oportunidad para que las personas vinculadas a dichos planes mejoren su situación socioeconómica: por un lado, aumenta la demanda de mano de obra y, por otro, suben los ingresos derivados de la actividad.

Entre las culturas locales, los reptiles suelen percibirse bien como sagrados y, en otros casos, como tabúes, o bien poseen una imagen negativa debido a leyendas y creencias populares; todo esto restringe su consumo (Alves *et al.*, 2012). Por su parte, el uso de subproductos de diversas especies de reptiles suele ser patrimonio cultural (Aguirre *et al.*, 2006; Cawthorn & Hoffman, 2016) de los pueblos originarios, y se basa en las propiedades medicinales y en los valores nutricionales que estas comunidades les atribuyen; a pesar de esto, no hay un fundamento científico que respalde esta

valoración (Fitch *et al.*, 1982; Auffenberg, 1988; Alves *et al.*, 2008; Hoffman, 2008; Teixeira *et al.*, 2020). Sin embargo, siempre se ha vinculado su consumo con el fin principal de comercializar su piel (Fitzgerald *et al.*, 1991).

También es importante señalar que el desconocimiento y las falsas creencias en las grandes urbes sobre la carne de animales silvestres hacen que esta sea un producto primario de lenta aceptación social. No obstante, en los últimos años la demanda de productos derivados de este tipo de animales, mal llamados exóticos, se ha incrementado por parte de la industria alimenticia, gracias a que dichos animales brindan alternativas naturales ricas en ácidos grasos esenciales de la familia omega 3 y omega 6 (Simopoulos, 1991; Wood *et al.*, 2004; Duda *et al.*, 2009; Comba *et al.*, 2010). Estas familias de ácidos grasos se presentan en altas concentraciones en los aceites de plantas, semillas y, particularmente, en animales como peces y reptiles (Hoffman, 2008; Tacon & Metian, 2013).

El uso de subproductos alternativos de especies de reptiles incrementa el retorno económico, lo cual permite generar programas de uso sustentable que apoyan la conservación de esas especies. Además, esto sirve para dar origen a nuevas actividades en diferentes escalas y con otras especies de reptiles. Asimismo, se debe tener en cuenta que la cacería de fauna silvestre es un medio de subsistencia para comunidades rurales tanto en Argentina como en otros países, ya sea por el consumo directo de la carne como

fuerza de proteínas o por la generación de insumos económicos a través de su comercialización. En muchas áreas rurales la carne procedente de la caza garantiza la soberanía y la seguridad alimentaria, sostiene economías domésticas y mantiene identidades y tradiciones culturales.

En Argentina, los programas de uso sustentable de reptiles vigentes incluyen dos técnicas:

1. *Caza*. Implica la cosecha directa de animales del medio silvestre. Este sistema es utilizado por el Proyecto Tupinambis para la especie *Salvator merianae* (en las provincias de Jujuy, Salta, Formosa, Chaco, Catamarca, La Rioja, Tucumán, Santiago del Estero, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos, Corrientes y Buenos Aires) y por el Proyecto Curiyú para la especie *Eunectes notaeus* (en la provincia de Formosa). Estos programas establecen un cupo máximo de colecta en cada temporada de caza, y regulan el tamaño mínimo de los cueros. De esta forma, se limita la extracción de mayores cantidades de ejemplares según las tendencias del mercado.

2. *Sistema de encierro o cautiverio*. Consiste en un sistema intensivo con mayor intervención tecnológica en alimentación y/o reproducción, en el que la distribución espacial de los animales está rigurosamente controlada por barreras físicas. Dentro de esta categoría, a su vez, se encuentran dos subsistemas:

Ciclo cerrado. Son sistemas tradicionales de cría en cautiverio que regulan todas las etapas del ciclo de vida de las especies.

Rancho, cría en granjas o ciclo abierto. En este tipo de subsistema, una de las etapas, generalmente la reproductiva, tiene lugar en ambientes naturales, donde anualmente se cosechan los huevos o las crías, que son trasladados a instalaciones controladas para completar su manejo en cautiverio. Este subsistema es utilizado con caimanes en las provincias de Santa Fe, Formosa y Corrientes.

En el programa de uso sustentable del yacaré (*Caiman latirostris*) se han realizado estudios sobre su carne y su grasa (Simoncini *et al.*, 2020; Valli, 2020; Vera Candiotti *et al.*, 2021). El sistema de cría de los caimanes permite la manipulación dietaria, por lo que los autores de este protocolo hemos iniciado, por un lado, una línea de trabajo basada en el enriquecimiento nutricional de su alimento y la mejora de su carne (Piña *et al.*, 2016, Leiva *et al.*, 2021) y, por otro, hemos evaluado la aceptación y preferencia de los consumidores de la carne de caimán (Nepote *et al.*, 2021), lo cual ha permitido valorizar este producto en el mercado. Además, iniciamos evaluaciones para producir aceite de yacaré como un nuevo subproducto, proceso que nos ha permitido evaluar el procedimiento y la optimización de su obtención (Vera Candiotti *et al.*, 2021) y su calidad nutricional.

En relación con los programas de uso sustentable Proyecto Tupinambis (*Salvator merianae* y *Salvator rufescens*) y Proyecto Curiyú (*Eunectes notaeus*), si bien hasta el momento, han demostrado su éxito en estos años de trabajo, se han limitado al aprovechamiento del cuero y no han involucrado

otros subproductos, como carne o grasa. Los antecedentes de los programas de manejo de yacaré muestran la necesidad de realizar estudios sobre la carne y la grasa de curiyú y de lagartos, y de investigaciones que mejoren el desarrollo de tecnología aplicada a la obtención de nuevos subproductos. En concreto, estos proyectos (con sus propias regulaciones y autorizaciones) podrían derivar en la generación de materias primas (carne y grasa) con alto potencial de aprovechamiento, como ya ha sido demostrado con el uso de otras especies de reptiles en cosmetología y consumo humano (Buthelezi *et al.*, 2012; Khunsap *et al.*, 2016; Moussounga *et al.*, 2018). Todo esto permitiría generar nuevas actividades y desarrollar nuevos mercados en un marco legal.

El protocolo que se describe a continuación presenta la metodología que utilizamos para estudiar las especies de reptiles manejadas en Argentina, enfocada en los siguientes aspectos: i) aptitud de la carne para el consumo humano; ii) características fisicoquímicas y organolépticas de dicha carne; iii) características de sus grasas y aceite; iv) diferentes métodos de obtención del aceite; y v) posibles usos de estos nuevos subproductos.

Materiales y métodos

La metodología propuesta a continuación permite evaluar las características de carnes no convencionales (en este caso, carnes

de reptiles) para consumo humano, provenientes de programas de uso sustentable. Se centra en tres aspectos: i) uso comercial y aprovechamiento de productos que aún no han sido explorados, para valorizar los planes de manejo; ii) control de la calidad sanitaria en diferentes momentos del proceso; y iii) reconocimiento del potencial valor nutritivo de las carnes para contribuir a la seguridad alimentaria.

Por otro lado, esta metodología propone el desarrollo de un procedimiento analítico detallado para la obtención de aceite de la grasa de reptiles para uso humano. Esto permite un aprovechamiento integral de los animales vinculados a la parte comercial de los planes de manejo. En una última etapa, se propone la evaluación de los aceites para conocer sus beneficios como suplemento dietario o para su posible uso en cosmetología o en el campo de la medicina, mediante el estudio de su capacidad antimicrobiana y antiinflamatoria.

Implementación de la metodología

Primero, hay que verificar los permisos de colecta y tránsito de acuerdo con la legislación de cada país o sitio de trabajo. Además, la fecha en la cual se realiza la toma de muestras debe coincidir con la temporada de caza habilitada de la especie en estudio, la cual se establece en el plan de manejo correspondiente. Este no es un detalle menor, ya que la definición del periodo de cacería de una especie asegura su conservación y evita afectar a la población en los momentos más críticos del ciclo de vida (cortejo, cópula, gravidez, parto o postura).

Otros elementos importantes son la talla de los animales que se utilizan para la toma de muestras (la cual debe encontrarse dentro de los tamaños habilitados para cada plan de manejo) y conocer la cantidad de muestras (carnes o grasas) a obtener por cada individuo.

Un aspecto primordial para la implementación de una estrategia de trabajo es la perspectiva holística que requiere el estudio de una especie. Esta perspectiva nos permite entender que existe un sistema en el que se interrelacionan diferentes actores, sectores de la producción y de la sociedad, y múltiples factores que pueden influir en el proceso (Acerbi, 2006). En este sentido, el grupo de trabajo debe indagar y conocer las tareas vinculadas con la obtención de las muestras o material biológico: ubicación y características del sitio de recolección de muestras (distancias, accesibilidad, instalaciones disponibles para su toma y almacenamiento, condiciones de seguridad e higiene), tiempo (periodo o momento del año), actores involucrados (cazadores y pobladores, acopiadores, curtidores, productores, mercado legal e ilegal, etc.), disponibilidad y preparativos necesarios, entre otros. El revelamiento de estos datos es útil para los planes de manejo y su organización operacional. Además, esto permite obtener información desde la mirada social de los actores involucrados para desarrollar y articular estrategias de mejoras en campo. Concretamente, el conocimiento de estos aspectos ayuda a identificar las formas más adecuadas para adaptarse a diferentes situaciones con el fin de obtener,

con el menor esfuerzo posible, una muestra biológica de buena calidad.

Obtención de muestras: faena y condiciones

Se debe tener en cuenta en qué contexto son recolectadas las carnes y grasas pertenecientes al lagarto overo (*Salvator merianae*), al lagarto colorado (*Salvator rufescens*) y al curiyú (*Eunectes notaeus*). Los individuos de estas especies son capturados en la naturaleza y, por lo general, son faenados durante las travesías de caza o son trasladados a la casa de los cazadores (en las zonas rurales), lo que acarrea ciertas limitaciones de higiene durante el proceso de colecta. En cambio, en el caso de *Caiman latirostris*, los individuos son faenados en un frigorífico autorizado para tal fin, aunque es conveniente verificar que en los procedimientos aplicados no exista contaminación (Figura 2).

Como referencia, se recomienda la propuesta de protocolo de sacrificio para cocodrilianos (en este caso *C. latirostris*) mediante la dislocación cervical, procedimiento enmarcado dentro de la guía de buenas prácticas del Grupo Especialista en Cocodrilos, CSG/IUCN, por sus siglas en inglés (Manolis & Webb, 2016). A continuación, se describe el método, que requiere un lugar donde el animal pueda ser asegurado firmemente:

1. El corte de la médula espinal debe ser instantáneo, con un golpe de un martillo pesado en un cincel metálico puntiagudo situado entre el cráneo y la primera



Figura 2. 1. Carne de yacaré overo (*Caiman latirostris*) faenada, lista para comercializar, perteneciente al Proyecto Yacaré/Yacarés Santafesinos. 2. Carne de individuo silvestre de curiyú (*Eunectes notaeus*) recientemente faenada para la obtención del cuero en Formosa, Argentina.

vértebra cervical, justo detrás de la plataforma craneal; también se puede usar un cuchillo afilado.

2. Inmediatamente después de la sección de la columna vertebral, el cerebro y la médula espinal deben ser destruidos mediante la inserción de una varilla de acero inoxidable o de metal en el cerebro. Posterior a este procedimiento, se desangra al animal. La sección de la columna vertebral permite retirar la piel de manera fácil, ya que reduce la necrosis *post mortem*. Es importante destacar que la sección de la columna vertebral sin destrucción de la médula espinal o del cerebro es un método inaceptable de sacrificio (Nevarez *et al.*, 2014).

Una vez finalizada esta etapa, se procede a la toma de muestras de los tejidos a evaluar: se colecta tejido muscular de diferentes secciones del cuerpo del animal (cuello, cachetes, carcaza, patas o cola) y tejido graso, dependiendo de la distribución

de esta en el animal (grasa visceral, grasa alrededor del cuerpo o cuerpo graso).

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la muestra

El análisis fisicoquímico (perfiles de ácidos grasos de los tejidos, proteínas, humedad, textura, parámetros oxidativos, entre otros aspectos) permite conocer la composición nutritiva de carnes y grasas y de los aceites obtenidos de estas, destinados a consumo humano y otros usos. Además, es importante realizar análisis microbiológicos en la etapa previa y en la posterior al almacenamiento y procesamiento de estos productos; por ejemplo, una vez la carne ha sido conservada en sal (carne seca), congelada o después de su cocción; en el caso de las grasas, una vez se ha obtenido el aceite.

En el caso particular de Argentina, el Código Alimentario Argentino establece dos categorías principales en cuanto a los criterios a seguir para la evaluación microbiológica

(de acuerdo con la Resolución MSyAS N° 003 del 11.01.95- de "Principios Generales para el Establecimiento de Criterios y Patrones Microbiológicos para Alimentos MERCOSUR" - GMC - RES N° 059/93):

- *Criterio obligatorio*: se utiliza para referirse a los microorganismos considerados patógenos y/o sus marcadores, que son de importancia para la salud pública y varían de acuerdo con la clase de alimento. En este caso, su hallazgo constituye razón suficiente para imputar la infracción y proceder en consecuencia, en forma preventiva o represiva, a imponer las sanciones que correspondan.
- *Criterio complementario (recomendatorio)*: es un criterio relativo a la evaluación del proceso tecnológico utilizado para la obtención de un producto. Puede orientar al fabricante o productor y aconsejarlo acerca de puntos sin control; seguirlo permitirá inferir o determinar la "falla", que se demuestra en los protocolos analíticos.

El análisis microbiológico debe realizarse, preferentemente, dentro de las 24 horas siguientes a la colecta de las muestras frescas y debe contar con la siguiente lista de microorganismos verificados, para informar no solo sobre su presencia/ausencia, sino además sobre su cuantificación. Se sugiere la aplicación de las técnicas recomendadas por el ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods): recuento de bacterias mesófilas aerobias; recuento de coliformes totales; presencia/ausencia de *Escherichia coli*; recuento, aislamiento e identificación de *Staphylococcus*

aureus; presencia/ausencia de *Salmonella spp.*, y aislamiento e identificación de *Clostridium perfringens*. Los análisis microbiológicos a realizar se deben corroborar de acuerdo con los procedimientos regulados por cada ente nacional de alimentos y nutrición.

El análisis microbiológico permite evaluar y realizar recomendaciones sobre los procedimientos durante la faena (método de faena, manipulación, etc.) y las diferentes formas de conservar las carnes y grasas (congeladas, saladas, a temperatura ambiente, etc.).

Evaluación de usos potenciales:

A partir de los resultados obtenidos de la caracterización físicoquímica de las carnes, se aconseja consultar a chefs especialistas en carnes y productos regionales sobre las posibles preparaciones de estas; posteriormente, es importante realizar pruebas de preferencia y aceptabilidad: una afectiva con los consumidores y otra descriptiva con los panelistas capacitados.

En el caso de las grasas y de los aceites obtenidas de estas, conociendo sus propiedades, el mejor método de extracción y sus características y la forma adecuada de conservarlas, se debe evaluar sus posibles usos (cosmetológicos o alimenticios). Se recomienda el uso de experimentos con ratas, tanto para estimar la capacidad antiinflamatoria como el potencial alimenticio. Además, para la evaluación antimicrobiana se sugiere utilizar ensayos en placas mediante microdilución contra cepas fúngicas y bacterianas.

Resultados esperados

Mediante la aplicación del protocolo propuesto, se obtienen datos para la caracterización fisicoquímica y microbiológica de carnes y grasas, estrechamente relacionada con el origen de las muestras, su modo de obtención y almacenamiento. Además, el proceso brinda ejemplos de experimentos para la evaluación de los usos potenciales, que permiten obtener resultados concretos sobre la aplicación de los productos. Destacamos que las conclusiones a las cuales se puede arribar con los análisis propuestos deben considerar el objetivo del estudio, ya sea este analítico, industrial, comercial o social.

Análisis de muestras

Estudios propuestos para evaluar las carnes de las especies de reptiles:

Rendimiento de la res

La evaluación del rendimiento se refiere al porcentaje de carne fresca obtenida (carne y carcasa) respecto al peso total del individuo vivo:

$$\frac{\text{Peso carne} \times 100}{\text{Peso total del individuo}}$$

Los pobladores acostumbran a conservar la carne en sal para elaborar el llamado "charqui" (Figura 3). Este proceso genera pérdida de agua en la carne y por lo tanto el rendimiento final es menor. Así, el cálculo del rendimiento de este tipo de carne puede estimarse relacionando el peso de la carne obtenida con el peso vivo del individuo, o también expresarse en relación con la carne fresca obtenida.



Figura 3. Carne silvestre de lagarto overo (*Salvator merianae*) obtenida en el marco del programa de uso sustentable "Tupinambis", sometida al proceso de salazón para la preparación de "charqui".

Caracterización de la carne

La composición fisicoquímica de la carne se conoce por medio de diferentes análisis. Los parámetros propuestos a continuación pueden variar de acuerdo con la condición de almacenamiento de la

muestra; es recomendable que esta sea almacenada a -20°C para mantener sus parámetros originales.

- Perfiles de ácidos grasos: determina los diferentes tipos de ácidos grasos presentes en las carnes, principalmente mediante la evaluación de la presencia de ácidos grasos esenciales y sus derivados poliinsaturados de cadena larga beneficiosos para la salud (Simoncini et al., 2020).
- Evaluación de color: se refiere al color de la carne, su luminosidad y aspecto (AMSA, 2012).
- Determinación de proteínas: define la energía y los aminoácidos presentes en la carne (AOAC 981.10, 2007).
- Contenido de humedad: establece la cantidad de agua contenida en las fibras musculares de la carne (AOAC 950.46, 2007).
- Determinación de lípidos: define el contenido de grasas entre las fibras musculares (AOAC 991.36, 2007).
- pH: caracteriza a la carne como ácida o básica.
- Determinación de la pérdida de peso de la carne durante su preparación o salado y por cocción: evalúa el rendimiento de la carne para el consumidor, ya que permite conocer cuánto peso se pierde en la preparación del alimento (Simoncini et al., 2020).
- Textura: caracteriza la dureza de la carne a través de la fuerza de corte aplicada

(AMSA, 2015) y del proceso de *rigor mortis* del músculo durante el enfriamiento para su almacenado a -20°C , a través de cortes histológicos de muestras (con diferente tiempo de congelamiento desde su faena: 0.5, 3, 7, 12, 24 y 36 horas) y de la determinación de la longitud del sarcómero. Con la ayuda de pinzas y bisturí se toman muestras de tejido, de aproximadamente 2,5 cm de largo por 1,5 cm de ancho y 0,5 cm de grosor, previamente asegurada por garras de metal. Las garras mantienen el músculo en condiciones y evitan la contracción o distensión de la fibra después de su retirada. Las muestras son fijadas en solución de formol bufferado (10 % p/v; pH: 7.2), deshidratadas por sucesivas soluciones de etanol, embebidas en parafina y procesadas histológicamente. Secciones de 5 μm de espesor se colorean con hematoxilina ácida fosfotúngstica de Mallory para su posterior examen microscópico.

Este método, propuesto por Sloss & Kemp (1978), se basa en el recuento de diez sarcómeros de seis miofibrillas diferentes; dichos sarcómeros son medidos con un ocular milimetrado con una escala de 10 μm . El promedio obtenido se multiplica por un factor de corrección de la lente de inmersión y el valor se expresa en μm .

Estudios propuestos para caracterizar las grasas (depósitos lipídicos) de las especies de reptiles

Rendimiento

Al igual que con las carnes, se debe conocer el rendimiento o la cantidad de grasa que puede obtenerse de cada individuo. Los reptiles poseen un depósito lipídico conocido como cuerpo graso, además de otros pequeños reservorios entre las vísceras, que facilita sacar la grasa.

$$\frac{\text{Peso grasa} \times 100}{\text{Peso total del individuo}}$$

Análisis metabólico-nutricional

Estos análisis se enfocan en conocer la calidad de las grasas para posibles usos en humanos. Debe tenerse en cuenta que, aunque la mejor manera de conservar las características de dichas grasas es su congelamiento (-20 o -80 °C), los pobladores locales no suelen contar con el equipamiento adecuado para la refrigeración. Por esta razón, en áreas rurales, la grasa simplemente se deja secar o se almacena en un recipiente para su posterior uso o aplicación. Los parámetros propuestos en el protocolo se pueden aplicar en muestras con diferentes métodos de conservación para su comparación. Entre los parámetros para evaluar grasas se recomiendan los siguientes:

- Perfiles de ácidos grasos: la determinación de los tipos de ácidos grasos presentes en las grasas se realiza por cromatografía gaseosa y se evalúa la presencia de ácidos grasos esenciales beneficiosos para la salud, con particular énfasis en el contenido de AG poliinsaturados de la familia omega 3 (Leiva *et al.*, 2018). Esto permite conocer la calidad de la grasa y si esta se modifica según el método de conservación o posterior procesamiento.
- Índice aterogénico (IA): es considerado como un indicador de salud relacionado con el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Ulbricht & Southgate, 1991). Se estima mediante la relación de la suma de los ácidos láurico (C12:0), mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0), y la suma de los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI).

$$IA = \frac{C12:0 + 4(C14:0) + C16:0}{\Sigma AGMI + \Sigma AGPI}$$

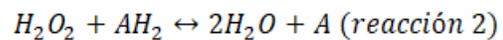
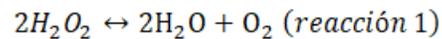
Análisis del estado oxidativo de la grasa

- Lipoperoxidación: este método permite determinar los hidroperóxidos lipídicos formados durante la fase de propagación de la oxidación por parte de radicales libres en el tejido animal. El protocolo experimental que se utiliza fue descrito por Ohkawa *et al.* (1979) y está basado en la determinación del malonildialdehído formado a partir de la reacción entre los peróxidos lipídicos y el ácido tiobarbitúrico. Se emplea un espectrofotómetro

para realizar la lectura de las muestras, ya que se genera una reacción colorimétrica que absorbe a una longitud de onda de 532 nm.

- Cuantificación de especies reactivas de oxígeno: las especies reactivas de oxígeno (ERO) son un subproducto inevitable de la respiración celular que causa la oxidación de lípidos, ácidos nucleicos y proteínas. El daño por las ERO es una causa subyacente de enfermedades como cáncer, inflamatorias y neurodegenerativas (Battin & Brumaghim, 2009). Los niveles de las ERO se pueden cuantificar utilizando el método 2'7-diclorodihidrofluoresceína diacetato (DCFH2-DA) descrito por Wang *et al.*, (2015). La DCFH2-DA es un colorante permeable a la membrana celular, capaz de difundirse pasivamente dentro de las células, donde sus grupos acetato son clivados activamente por esterasas para formar 2'7-diclorodihidrofluoresceína, los cuales al reaccionar con radicales libres forman el compuesto 2'7-diclorofluoresceína, que es un compuesto fluoresce (Cathcart, 1983). La cuantificación de la intensidad de la fluorescencia se determina mediante un espectrofotómetro de fluorescencia ($\lambda_{excitación} = 485 \text{ nm}$, $\lambda_{emisión} = 538 \text{ nm}$) y los resultados se expresan como unidades de fluorescencia (UF) sobre miligramos de proteína. La concentración de proteínas se determina a través de la técnica de Lowry *et al.* (1951).
- Determinación de catalasa: la catalasa (CAT) es una enzima que descompone el

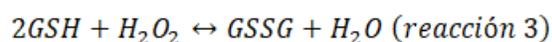
peróxido de hidrogeno (H_2O_2) en oxígeno molecular y agua (reacción 1). A bajas concentraciones de H_2O_2 también cataliza la oxidación de varios donantes de hidrógeno (reacción 2), actúa como peroxidasa y utiliza como sustratos alcoholes, como el metanol y el etanol (Chance *et al.*, 1979; Johansson & Borg, 1988).



El H_2O_2 es un residuo del metabolismo celular que ejerce una función protectora contra ciertos microorganismos patógenos, pero debe ser transformado debido a que resulta tóxico para las células. Esta enzima, además del H_2O_2 , contribuye a eliminar radicales superóxidos e hidroxilos (Kangralkar *et al.*, 2010). La determinación se puede realizar mediante el método colorimétrico descrito por Aebi (1984). Este consiste en medir el decaimiento de la absorbancia por la degradación de H_2O_2 como consecuencia de la actividad enzimática. Las lecturas de las muestras se realizan con un espectrofotómetro a una longitud de onda de 240 nm, y los resultados se expresan en términos de actividad enzimática específica en unidades sobre miligramos de proteína (U/mg). Una unidad de actividad se define como la cantidad de enzima requerida para transformar un μmol de sustrato por minuto bajo las condiciones de reacción adecuadas.

- Determinación de glutatión peroxidasa: el glutatión peroxidasa (GSH-Px) es una enzima selenio (Se) dependiente que cataliza la reducción del H_2O_2 (reacción 3)

o lipoperóxido (L-OOH), utilizando como agente reductor el glutatión reducido (GSH) y el NADPH como cofactor. El H_2O_2 , así como la oxidación de los L-OOH, son metabolitos tóxicos para las células; como parte del mecanismo de defensa antioxidante, esta enzima los reduce en presencia del GSH, y transforma este último en glutatión disulfuro (GSSG) (Lam *et al.*, 1993).



La determinación del GSH-Px se lleva a cabo por el método colorimétrico descrito por Lawrence & Burk (1976), que consiste en medir el cambio de absorbancia debido a la transformación del NADPH, como consecuencia de la actividad enzimática de la GSH-Px. Las lecturas de las muestras se realizan con un espectrofotómetro a una

longitud de onda de 340 nm, y los resultados se expresan en nmol/min.mg de proteínas.

Métodos de extracción del aceite

Los métodos de extracción de aceite a comparar deben seleccionarse de acuerdo con los objetivos del estudio (analítico, industrial o comercial) y las características de la especie en estudio. Hay diversas técnicas de extracción: fluidos supercríticos, prensado húmedo, extracción por solventes (hexano, cloroformo, metanol, éter de petróleo, isopropanol), calor, secado y decantación, o la combinación de algunas de estas, entre otras (Figura 4). Según nuestra experiencia, la obtención de aceite de reptiles por parte de los pobladores locales, el cual se utiliza para prácticas medicinales, se basa en la obtención de la grasa, su secado y almacenamiento en un recipiente

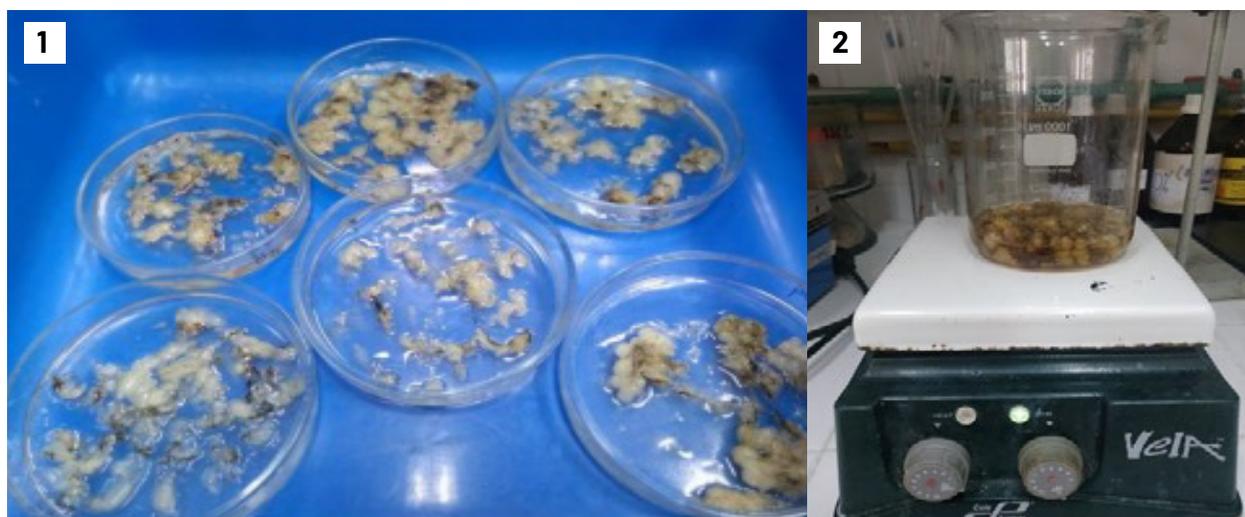


Figura 4. 1. Muestras de grasa de yacaré overo (*Caiman latirostris*) en cajas de Petri, que fueron sometidas a estufa para obtención de aceite. 2. Muestras de grasa de yacaré overo (*Caiman latirostris*) sometidas al proceso de fusión con manta de calor para obtención de aceite.

común a temperatura ambiente, donde el aceite va decantando.

Rendimiento y calidad

Para evaluar los posibles métodos de extracción de aceite a partir de las grasas, se deben comparar, en primera medida, teniendo en cuenta la mayor cantidad de aceite obtenido mediante el análisis gravimétrico, que considera el peso del aceite crudo o lípido obtenido y se expresa en % p/p del tejido comestible húmedo.

$$\text{Rendimiento total (\%)} = \frac{\text{peso del aceite (g)}}{\text{peso del tejido húmedo (g)} \times 100}$$

Calidad y análisis del estado oxidativo del aceite

- La calidad del aceite es evaluada por el perfil de ácidos grasos, el cual debe ser similar al de la grasa.
- Índice de peróxidos (IP): es una medida del O₂ unido a las grasas en forma de peróxidos. Como consecuencia de los procesos oxidativos (autooxidación), se forman especialmente hidroperóxidos, como compuestos de oxidación primarios, además de cantidades reducidas de otros peróxidos. El IP proporciona, por lo tanto, información acerca del grado de oxidación de la muestra y permite, con ciertas limitaciones, una estimación de cuánto se ha alterado el aceite o en qué extensión este ha sufrido una autooxidación. El método consiste en el tratamiento de una muestra disuelta en

ácido acético y cloroformo, utilizando solución de yoduro de potasio (IK), y en una posterior titulación del yodo liberado con solución valorada de tiosulfato de sodio (AOCS, 1993).

- Índice de anisidina: es una medida de los productos de la oxidación secundaria (Grompone, 1991). Los aldehídos que se derivan de la oxidación secundaria reaccionan con la anisidina, lo cual genera una variación de la absorbancia que se lee con un espectrofotómetro a una longitud de onda de 350 nm (AOCS, 1993).
- Índice de Kreiss: es un método cualitativo que determina la rancidez en aceites y grasas comestibles por el color de las muestras. Este método se basa en mezclar el aceite con una solución de fluoroglicina y ácido clorhídrico, donde la producción de color rojo o rosado se debe a la reacción sensible entre la fluoroglicina y un compuesto presente en las grasas o aceites rancios como el aldehído malónico y el aldehído epidrínico (derivado de la oxidación del ácido linoleico, que es un ácido graso esencial en el aceite).
- Índice de Iodo: es una medida del grado de insaturación (números de dobles enlaces) de las grasas. Define como los gramos de yodo absorbidos por 10 g de grasa. Para su determinación se utiliza el reactivo de Hanus.
- Índice de saponificación: es la cantidad de hidróxido de potasio, expresado en miligramos, necesario para saponificar un gramo de aceite.

- Dienos y trienos conjugados: la determinación de estos es una alternativa para medir la oxidación primaria y los hidroperóxidos en aceites. La formación del hidroperóxido en la cadena de un ácido graso poliinsaturado produce el desplazamiento de un doble enlace hacia el carbono del grupo metilénico anexo, con la consecuencia de un dieno conjugado. A su vez, los trienos conjugados son una medida de muchos compuestos de oxidación secundaria formados por la degradación de peróxidos (Gray, 1978).
- Capacidad antioxidante: es un método para evaluar la presencia de compuestos antioxidantes, presentes en una muestra, que reaccionan con radicales libres. En esta técnica se utiliza el radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), que es susceptible a reaccionar con compuestos antioxidantes a través de un proceso caracterizado por la cesión de un átomo de hidrógeno proporcionado por el agente antioxidante (Guija-Poma *et al.*, 2015).

Estabilidad oxidativa del aceite

- Los aceites deben conservarse en frascos color caramelo a temperatura ambiente y en heladera (5 °C), durante por lo menos dos meses, a fin de continuar midiendo regularmente (cada siete días) el índice de peróxidos y realizar el test de anisidina con el objetivo de evaluar la estabilidad de este subproducto y su mejor método de conservación. También se considera necesario realizar el análisis microbiológico, ya que este aceite se

puede destinar para consumo humano y usar como ingrediente de productos que se aplican en humanos u otros animales.

Evaluación de usos potenciales de la carne y la grasa de reptiles

Luego de confirmar la ausencia de patógenos a través de los resultados de los análisis microbiológicos, se evalúan los posibles usos de la carne (consumo) y del aceite obtenido a partir de la grasa (consumo o como base para productos farmacológicos o cosmetológicos).

Carne

Si la carne es apta para consumo humano, como primera instancia, se deben llevar a cabo pruebas de preferencia y aceptabilidad: una afectiva con los consumidores y otra descriptiva con los panelistas especializados. Una vez se conocen las características fisicoquímicas, y con la colaboración de chefs especialistas en carnes y productos regionales, se deben valorar diferentes preparaciones.

- Pruebas con consumidores: son pruebas afectivas y su objetivo es obtener datos subjetivos relacionados con la aceptación de los productos. Como ejemplo, los autores de este protocolo realizamos un estudio con 80 participantes reclutados. Los criterios que usamos con ellos y que sirven de guía para este tipo de pruebas son los siguientes: edades entre 18 y 64

años, no fumadores, sin alergias alimentarias y que coman carnes blancas (ya que las evaluaciones fueron realizadas con carnes consumidas habitualmente, como pescado y pollo). La idea es instruir a los sujetos para que prueben cada tipo de carne ofrecida y luego se enjuaguen la boca con agua entre cada una de las porciones, para minimizar cualquier efecto residual. Se debe utilizar una escala hedónica de nueve puntos, que va de 1 (no me gusta mucho) a 9 (me gusta mucho), para evaluar el aspecto, el aroma, el sabor, la textura y la aceptación general (Grosso *et al.*, 2017). También, se le debe solicitar a los sujetos que clasifiquen las muestras de menor a mayor preferencia (Lawless & Heymann, 2010).

- Panelistas capacitados: las pruebas proporcionan una descripción sensorial completa del producto y permiten determinar qué atributos de este tipo son importantes para su aceptación. En el estudio mencionado anteriormente participaron ocho panelistas capacitados en el análisis descriptivo de muestras en diferentes preparaciones de los tipos de carnes. Con base en esta experiencia, el reclutamiento de los panelistas se puede hacer mediante las siguientes pruebas: i) cuestionario de preselección; ii) agudeza para la descripción del producto y la detección de diferencias; iii) clasificación de los atributos de sabor y textura; y iv) una entrevista personal. Asimismo, es importante que cumplan los siguientes criterios: que sean personas con dentición natural, con edades comprendidas entre 18 y 64 años, no fumadores,

sin alergias alimentarias, disponibles para todas las sesiones, que estén interesados en participar y sean capaces de comunicar verbalmente las observaciones relativas al producto (Meilgaard *et al.*, 2006; Grosso *et al.*, 2017).

Previamente a las pruebas con los panelistas, se realizan sesiones de capacitación y se elabora una lista de definiciones con las clasificaciones de intensidad de referencia, las cuales se colocan en las cabinas durante las sesiones de prueba (Nepote *et al.*, 2004; Grosso *et al.*, 2017). En las sesiones de capacitación y evaluación se utiliza un método de análisis descriptivo híbrido, que combina el análisis descriptivo cuantitativo (Tragon Corp., Redwood City, California, EE.UU.) y los métodos de análisis del espectro TM (Sensory Spectrum, Inc., Chatham, N.J., EE.UU.).

Aceite

En primera instancia, se deben evaluar los potenciales efectos benéficos de los aceites de reptiles, por ejemplo, como suplemento alimentario. Por lo demás, definir los mecanismos involucrados en el metabolismo lipídico en tejidos claves en animales de experimentación (ratas) alimentados con dietas ricas en grasas durante 60 días, en las que se usan los aceites como suplementación o enriquecimiento dietario, podría dar un panorama de sus efectos al ser incorporados en la dieta humana. La actividad propuesta se refiere a valoraciones nutricionales y bioquímico-moleculares de parámetros relacionados con el metabolismo intermedio lipídico, principalmente

en el hígado, así como a diversos factores involucrados en la modulación de procesos oxidativos e inflamatorios de los animales en experimento. Las evaluaciones metabólico-nutricionales realizadas en las ratas –como los parámetros antropométricos, la eficiencia energética y la ganancia de peso, los niveles de lípidos séricos y tisulares, las actividades de enzimas claves en la lipogénesis y β -oxidación en hígado y tejido adiposo, la determinación de sustancias reactivas al oxígeno en plasma y la capacidad antioxidante hepática, así como los análisis histopatológicos de hígado, entre otras– examinan la inclusión del aceite en una alimentación saludable.

La aplicación de los aceites de reptiles no se reduce solo a su consumo, sino también a su uso en cremas, pomadas o lociones, para lo cual es imprescindible el análisis de las potenciales características inmunológicas y antimicrobianas. Los pobladores locales utilizan el conocimiento adquirido a través de generaciones y aplican los aceites con fines terapéuticos y medicinales, aunque muchas veces sin respaldo científico. Sin embargo, existe evidencia de que la grasa y el aceite de algunas especies de reptiles tienen estas propiedades (Ferreira *et al.*, 2009; Buthelezi *et al.*, 2012; Khunsap *et al.*, 2016; Mukherjee *et al.*, 2017; Mishra *et al.*, 2020).

- Las actividades antimicrobianas de los aceites se pueden probar a través de ensayos en placas mediante microdilución contra cepas fúngicas y bacterianas (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida tropicalis*, *Penicillium*, entre

otras). En una placa se colocan 100 μ l de caldo apropiado y el cultivo microbiano correspondiente de 100 μ l. Finalmente, se agregan los volúmenes apropiados de agua (94, 79, 76, 73, 70, 64, o 49 μ l) y de aceite de reptil (0, 15, 18, 21, 24, 30, o 45 μ l), seguido de 6 μ l de dimetilsulfóxido-DMSO. El agua, el aceite de reptil y el DMSO constituyen un volumen total constante de 100 μ l. Las placas son incubadas bajo las condiciones adecuadas para cada cepa y se utilizan controles positivos para cada una de ellas. El crecimiento microbiano se cuantifica por colorimetría y densidad óptica en un lector de microplacas.

- El potencial antioxidante de los aceites se puede evaluar teniendo en cuenta el diseño experimental de Buthelezi *et al.* (2012), destinado a ensayos antiinflamatorios tópicos y ensayos antiinflamatorios orales.

Ventajas y oportunidades

- Se propone el aprovechamiento integral del animal mediante el uso de subproductos que hasta el momento no son utilizados, por lo cual la obtención de las muestras no implica el sacrificio del ejemplar, debido a que forma parte del circuito comercial del cuero.
- El costo de las materias primas es bajo debido a que su obtención incluye la utilización de lo que se considera como “descarte” en el plan de manejo sustentable.
- Estos estudios valorizan el conocimiento de los pobladores locales y sirven para certificar sus prácticas de manejo, lo que crea un vínculo de estos con los investigadores.
- Los análisis propuestos generan el desarrollo de nuevos subproductos y actividades que incorporan a los pobladores locales involucrados, circunstancia que mejora la actividad económica local y los retornos económicos al programa.
- Las metodologías propuestas proporcionan información acerca de la calidad microbiológica y nutricional de carnes de caza, que son fuentes alternativas de proteínas para la población local.

Desventajas o retos

- Rechazo de los consumidores a productos o subproductos provenientes de reptiles, por cuestiones religiosas o culturales.
- La obtención de la materia prima para el aprovechamiento y desarrollo de nuevos productos está limitada a una época del año y a la cuota de caza permitida.
- La calidad de las muestras puede verse afectada por las distancias y las condiciones de los sitios donde se realiza la caza de los animales.
- El costo de procesamiento físico-químico, microbiológico y antimicrobiano es elevado, pero varía según el tipo de procesamiento y número de parámetros que se desea analizar.
- La viabilidad del desarrollo comercial depende del caudal de obtención de la materia prima y de su rendimiento, aunque es una actividad complementaria a otras.

Conclusiones

Este protocolo presenta una metodología para la evaluación y el desarrollo de propuestas de aprovechamiento de carne y grasa de reptiles (caimanes, boas y lagartos), algunos no utilizados actualmente, provenientes de planes de manejo sustentable. Todos los estudios propuestos permiten el desarrollo de nuevos subproductos y actividades que incorporan a los pobladores locales involucrados, lo cual mejora la actividad económica local y los retornos económicos al programa. De esta manera, se apoya no solo la conservación de estas especies, sino también la de otras que conviven en los mismos hábitats. Además, brinda información acerca de la calidad microbiológica y nutricional de carnes de caza que son fuentes alternativas de proteínas para la población local. Al mismo tiempo, el protocolo apoya la transmisión de información al colectivo de cazadores y su formación en buenas prácticas para el manejo de la carne de caza, que garanticen su buena calidad e inocuidad. Esto posibilita la implementación de sistemas de monitoreo de la recolección de carne silvestre y su comercio (o autoconsumo), con base en la integración de entidades cinegéticas locales y conocimientos científicos.

Agradecimientos

Agradecemos el financiamiento recibido por la Universidad Nacional del Litoral con el CAI+D Orientado 2016 y al Proyecto Yacaré/Yacarés Santafesinos, PICT 2014 N°2212 (a cargo de Simoncini), PICT 2019 N°04300 (a cargo de Leiva) y por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Este documento ha sido financiado en parte por la Fundación Gordon and Betty Moore Foundation, a través del proyecto GBMF9258 a Fundación Natura.

Referencias

Acerbi, M. (2006). Enfoque sistémico en las producciones animales alternativas. En Carlos M. Vieites (dir.), *Agronegocios Alternativos*. FAUBA.

Aebi, H. (1984). Catalase "in vitro". *Methods in Enzymology*; 105,121-126.

Aguirre, A. A., Gardner, S. C., Marsh, J. C., Delgado S. G., Limpus, C. J. & Nichols, W. J. (2006). Hazards associated with the consumption of sea turtle meat and eggs: a review for health care workers and the general public. *EcoHealth*, 3(3), 141-153. <https://doi.org/10.1007/s10393-006-0032-x>

Alves, R. R., da Silva Vieira W. L. & Santana, G. (2008). Reptiles used in traditional folk medicine: conservation implications. *Biodiversity and Conservation*, 17, 2037-2049. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9305-0>

Alves, R. R. N., Vieira, K. S., Santana, G. G., Vieira, W. L. S., Almeida, W. O., Souto W. M. S., Montenegro, P. F. G. P. & Pezzuti, J. C. B. (2012). A review on human attitudes towards reptiles in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(11), 6877–6901.

American Meat Science Association (2012). *Meat Color Measurement guidelines*. AMSA. https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/hot-topics/2012_12_meat_clr_guide.pdf?sfvrsn=d818b8b3_0

American Meat Science Association (2015). *Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat*. AMSA. <https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/amsa-sensory-and-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/2015-amsa-sensory-guidelines-1-0.pdf?sfvrsn=6>

American Oil Chemists' Society. (1993). *Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society* (4th ed.). AOCS.

Battin, E. E. & Brumaghim, J. L. (2009). Antioxidant activity of sulfur and selenium: a review of reactive oxygen species scavenging, glutathione peroxidase, and metal-binding antioxidant mechanisms. *Cell biochemistry and biophysics*, 55(1), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s12013-009-9054-7>

Bertonatti, C. & Corcuera, J. (2000). *Situación ambiental argentina 2000 (No. P01 FVSA 17099)*. Fundación Vida Silvestre Argentina.

Bolkovic, M. L. & Ramadori, D. (2006). Manejo de fauna silvestre en la Argentina. *Programas de uso sustentable*, 15(3), 150-161.

Buthelezi, S., Southway, C., Govinden, U., Bodenstein, J. & du Toit, K. (2012). An investigation of the antimicrobial and anti-inflammatory activities

of crocodile oil. *Journal of ethnopharmacology*, 143(1), 325-330.

Cathcart, R., Schwieters, E. & Ames, B. N. (1983). Detection of picomole levels of hydroperoxides using a fluorescent dichlorofluorescein assay. *Analytical biochemistry*; 134(1), 111-116.

Cawthorn, D. M. & Hoffman, L. C. (2016). Controversial cuisine: A global account of the demand, supply and acceptance of "unconventional" and "exotic" meats. *Meat Science*, 120, 19-36. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.017>

Chance, B., Sies, H. & Boveris, A. (1979). Hydroperoxide metabolism in mammalian organs. *Physiological reviews*, 59(3), 527-605. <https://doi.org/10.1152/physrev.1979.59.3.527>

Comba, A., Maestri, D. M., Berra, M. A., Garcia, C. P., Das, U. N., Eynard, A. R. & Pasqualini, M. E. (2010). Effect of ω -3 and ω -9 fatty acid rich oils on lipoxigenases and cyclooxygenases enzymes and on the growth of a mammary adenocarcinoma model. *Lipids in Health and Disease*, 9(1), 112. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-9-112>

Duda, M. K., O'shea, K. M. & Stanley, W. C. (2009). ω -3 polyunsaturated fatty acid supplementation for the treatment of heart failure: mechanisms and clinical potential. *Cardiovascular research*, 84(1), 33-41.

Ferreira, F. S., Brito, S. V., Costa, J. G., Alves, R. R., Coutinho, H. D. & Almeida, W. D. O. (2009). Is the body fat of the lizard *Tupinambis merianae* effective against bacterial infections? *Journal of Ethnopharmacology*, 126(2), 233-237. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.08.038>

Fitch, H. S., Henderson, R. W. & Hillis, D. M. (1982). Exploitation of iguanas in Central America. En G. M. Burghardt & A. S. Rand (eds.), *Iguanas of the world. Their behavior, ecology and conservation* (pp. 397-417). Noyes Publications.

Fitzgerald, L. A., Chani, J. M. & Donadio, O. E. (1991). Tupinambis lizards in Argentina: implementing management of a traditionally exploited resource. En J. G. Robinson & K. H. Redford (eds.). *Neotropical wildlife use and conservation* (pp. 303-316). University of Chicago Press.

Gray, J. I. (1978). Measurement of lipid oxidation: A review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 55(6), 539-546. <https://doi.org/10.1007/BF02668066>

Grompone, M. A. (1991). El índice de anisidina como medida del deterioro latente de un material graso. *Grasas y Aceites*, 42(1), 8-13. <https://doi.org/10.3989/gya.1991.v42.i1.1272>

Grosso, A. L., Asensio, C. M., Grosso, N. R. & Nepote, V. (2017). Sensory Quality Preservation of Coated Walnuts. *Journal of Food Science*, 82(1), 185-193.

<https://doi.org/10.1111/1750-3841.13570>

Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. A., Ponce-Pardo, J. & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2, 2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico*, 15(1), 57-60.

Hoffman, L. C. (2008). The yield and nutritional value of meat from African ungulates, camelidae, rodents, ratites and reptiles. *Meat Science*, 80(1), 94-100. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.018>

Johansson, L. H. & Borg, L. H. (1988). A spectrophotometric method for determination of catalase activity in small tissue samples. *Analytical Biochemistry*, 174(1), 331-336. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(88\)90554-4](https://doi.org/10.1016/0003-2697(88)90554-4)

Kangralkar, V. A., Patil, S. D. & Bandivadekar, R. M. (2010). Oxidative stress and diabetes: a review. *International Journal of Pharmaceutical Applications*, 1(1), 38-45.

Khunsap, S., Vesaratchapong, T., Laongbao, P., Chanhome, L., Buranapraditkun, S., Pakmanee, N. & Boonchang, S. (2016). Antioxidant, Anticancer Cell Lines and Physiochemical Evaluation of Cobra Oil. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 4(3), 21-27. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.2296>

Lam, K. W., Wang, L., Hong, B. S. & Treble, D. (1993). Purification of phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase from bovine retina. *Current Eye Research*, 12(1):9-15. <https://doi.org/10.3109/02713689308999490>

Lawless, H. T. & Heymann, H. (2010). Acceptance testing. In *Sensory evaluation of food. Principles and Practices* (pp. 325-347). Springer.

Lawrence, R. A. & Burk, R. F. (1976). Glutathione peroxidase activity in selenium-deficient rat liver. *Biochemical and biophysical research communications*, 71(4), 952-958. [https://doi.org/10.1016/0006-291X\(76\)90747-6](https://doi.org/10.1016/0006-291X(76)90747-6)

Leiva, P. M. D. L., Labaque, M. C., Fernández, M. E., Piña, C. I. & Simoncini, M. S. (2018). Physical and chemical characteristics of fertile and infertile eggs of wild *Caiman latirostris*. *Aquaculture*, 497, 287-291. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.002>

Leiva, P. M. L., Frutos, A. E., Lavandera, J., Simoncini, M. S., Labaque, M. C., Bernal, C., Piña, C. I. & González, M. (en prensa). Effect of flaxseed and flaxseed oil supplemented in caiman diet on meat fatty acids. *Tropical Animal Health and Production*.

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. & Randall, R. J. (1951). Protein measurement by folin-phenol reagent. *Analytical biochemistry*, 193(1), 265-275.

Manolis, S. C. & Webb, G. J. (2016). *Best management practices for crocodilian farming*. IUCN-SSC Crocodile Specialist Group, Australia.

Meilgaard, M. C., Carr, T. B. & Civille, V. G. (2006). *Sensory evaluation techniques* (4th ed.). CRC press.

Mishra, B., Akhila, M. V., Thomas, A., Benny, B. & Assainar, H. Formulated Therapeutic Products of Animal Fats and Oils: Future Prospects of Zootherapy. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*, 10(2), 112-116. <https://doi.org/10.5530/ijpi.2020.2.20>

Moussounga, J. E., Dzondo Gadet, M., Pambou Tobi, N. P. G., Tamba Sompila, A. W. G., Zassi-Boulou, A. G., Diaboua, J. F. & Desobry, S. (2018). Physicochemical characterization and technological valorization of python fat (*Python sebae*) of congo Brazzaville. *Internacional Journal of Current Research*, 10(02):65315-65322.

Mukherjee, S., Gomes, A. & Dasgupta, S. C. (2017). Zoo Therapeutic uses of Snake Body Parts in Folk: Traditional Medicine. *Journal of Zoological Research*, 1(1), 1-9.

Nepote, V., Mestrallet, M. G. & Grosso, N. R. (2004). Natural antioxidant effect from peanut skins in honey-roasted peanuts. *Journal of Food Science*, 69(7), 295-300. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13632.x>

Nepote, V., Lábaque, M. C., Quiroga, P. R., Leiva, P. M. L., Paez, A. R., Piña, C. I. & Simoncini, M. S. (2021). Sensory analysis and volatile compounds in *Caiman latirostris* meat in comparison with other traditional meats. *British Food Journal*. <https://doi.org/10.1108/BFJ-04-2021-0360>

Nevarez, J. G., Strain, G. M., Da Cunha, A. F. & Beaufrère, H. (2014). Evaluation of four methods for inducing death during slaughter of American alligators (*Alligator mississippiensis*). *American Journal of Veterinary Research*, 75(6):536-543. <https://doi.org/10.2460/ajvr.75.6.536>

Ohkawa, H., Ohishi, N. & Yagi, K. (1979). Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical biochemistry*, 95(2), 351-358. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(79\)90738-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(79)90738-3)

Piña, C. I., Lucero, L., Simoncini, M., Peterson, G. & Tavella, M. (2016). Influence of flaxseed enriched diet in Broad-snouted caiman (Crocodylia: Alligatoridae) meat. *Zootecnia Tropical*, 34, 25-33

Ramadori, D. (2006). Uso sustentable de fauna silvestre. Una herramienta para la conservación. En M. L. Bolkovic & Ramadori, D. (eds.). *Manejo de Fauna Silvestre en la Argentina. Programas de uso sustentable* (pp. 9-14). Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Simoncini, M., Lábaque, M. C., Perlo, F., Fernández, M. E., Rey Paez, A., Leiva, P. M. L., Teira, G., Larriera, A. & Piña, C. I. (2020). *Caiman latirostris* meat: Evaluation of the nutritional, physical and chemical properties of meat from sustainable ranching program in Argentina. *Aquaculture*, 515, 734570. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734570>

Simopoulos, A. P. (1991). Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 54(3), 438-463. <https://doi.org/10.1093/ajcn/54.3.438>

Sloss, M. W. & Kemp, R. L. (1978). *Veterinary clinical parasitology* (5th ed.). Iowa State University Press.

Tacon, A. G. & Metian, M. (2013). Fish matters: Importance of Aquatic Foods in Human Nutrition and Global Food Supply. *Reviews in Fisheries Science*, 21(1), 22-38. <https://doi.org/10.1080/10641262.2012.753405>

Teixeira, J. V. D. S., Santos, J. S. D., Guanaes, D. H. A., Rocha, W. D. D. & Schiavetti, A. (2020). Uses of wild vertebrates in traditional medicine by farmers in the region surrounding the Serra do Conduru State Park

(Bahia, Brazil). *Biota Neotropica*, 20(1), e20190793. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0793>.

Ulbricht, T. L. V. & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), 985-992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)

Vera Candioti, L., Leiva, P. M., Valli, F., Bernal, C. A., Piña, C. I., Simoncini, M. S. & González, M. A. (2021). Optimization of oil extraction from caiman fat. Characterization for use as food supplement. *Food Chemistry*, 357, 129755. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129755>

Wang, X., Che, H., Zhang, W., Wang, J., Ke, T., Cao, R. & Luo, W. (2015). Effects of mild chronic intermittent cold exposure on rat organs. *International Journal of Biological Sciences*, 11(10), 1171-1180. <https://doi.org/10.7150/ijbs.12161>

Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M., Kasapidou, E. & Enser, M. (2004). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66(1), 21-32. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00022-6)

Muestreo de poblaciones de fauna silvestre mediante cámaras fotográficas sensibles al movimiento a distancia (cámaras trampa)

Diana Patricia Urbina Flores^a, Tania Arellano Alavez^b,
Sofía Evelyn Pierini^c, Fernando Xicoténcatl Plata Pérez^d

Resumen

En las últimas décadas ha surgido un creciente interés por el monitoreo de la vida silvestre a través de cámaras fotográficas sensibles al movimiento a distancia (cámaras trampa, CT). Esta herramienta ha facilitado la recolección de grandes paquetes de datos con información muy específica sobre la dinámica de las especies silvestres. Los resultados obtenidos mediante la implementación de esta tecnología han permitido estudiar la fauna silvestre durante periodos variables. Esta no es una técnica realmente invasiva y ha facilitado la estimación de variables primordiales, como ocurrencia, ocupación, diversidad, densidad, patrones de actividad y tasas de actividad. Dicha técnica permite la inclusión de covariables ambientales que favorecen el análisis de la ecología de las especies. El objetivo de este trabajo es presentar un manual de uso de la técnica de fototrampeo aplicada al monitoreo de especies silvestres de vida libre –que incluyen mamíferos herbívoros, carnívoros, y reptiles, clasificados en diferentes tallas– distribuidas en el continente americano. Para ello nos basamos en diversos estudios que han utilizado las CT. Los atributos que tomamos de dichos estudios son los siguientes: especie, área de muestreo, ubicación geográfica, número de locaciones, número de cámaras por locación, duración del muestreo, zona de colocación y distancia mínima entre cámaras. La comparación de diversas aplicaciones de esta técnica nos permite proponer recomendaciones para que la utilización de CT se extienda a la comunidad científica, los estudiantes, las poblaciones rurales y a todo actor interesado en el conocimiento y la conservación de la vida silvestre. En términos generales, nuestra propuesta pretende ser simple y las recomendaciones que surgen de ella para las investigaciones que utilicen las CT son: 1) elaborar un mapa del área de estudio según su tamaño, con una cuadrícula de 0,5, 1 o 2 km²; 2) instalar una locación por cuadro, o dos CT si se pretende evaluar densidad poblacional; 3) caracterizar la cubierta vegetal de las locaciones utilizadas mediante la estimación del índice de Shannon para especies vegetales; y 4) considerar un mínimo esfuerzo de 1000 días CT. Si el muestreo está focalizado en felinos, se deben instalar dos CT por locación, colocadas en forma perpendicular a los caminos o veredas, y se debe complementar con el reporte de indicios (huellas, excretas o marcas). Adicionalmente, recomendamos el uso de los programas Mark, Capture y SPACECAP para realizar las estimaciones de las poblaciones de felinos.

Palabras clave: cámaras trampa, densidad, inventario de especies, ecología, monitoreo de población.

a Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100 Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, México CP 04970.

b Secretaría de Educación Pública, Subsecretaría de Educación Media Superior, Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar. Av. Universidad 1200. Col. Xoco. Alcaldía Benito Juárez, México CP 03330.

c Centro de Investigación Científica y de Transferencia Tecnológica a la Producción, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CICYTTP), Universidad Autónoma de Entre Ríos. España 149 (E3105BWA), Diamante, Provincia Entre Ríos, Argentina.

d Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100 Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, México CP 04970.

Autor de correspondencia: Fernando Xicoténcatl Plata Pérez. ppfx2221@correo.xoc.uam.mx; dian.urbina.flores@gmail.com; tania_arell@yahoo.com.mx; spierini27@gmail.com;

Sampling of wildlife populations using remote motion sensitive cameras (camera traps)

Abstract

In recent decades there has been a lot of interest in the wildlife monitoring technique through remote motion-sensitive cameras (camera traps; CT). This tool has facilitated the capture of large data packets with high sensitivity to the dynamics of wild species. The results obtained with the implementation of this technology have made it possible the continuous study of wildlife during long periods, without being an invasive technique, and facilitating the estimation of primordial variables such as occurrence, occupation, diversity, density, activity patterns, and rates of exercise. This technique allows the inclusion of environmental covariates that favor the analysis of the ecology of the species. The objective of the work was to develop a manual of uses of the photo-trapping technique for the monitoring of species, based on the review of various indexed publications, which include herbivorous mammals, carnivores, and reptiles, classified in different sizes. The attributes of the CT studies include species, sampling area, geographic location, number of locations and cameras per location, sampling duration, placement zone, and minimum distance between cameras. The comparison of techniques allowed us to propose recommendations for the use of CT to be extended to the scientific community, students, rural populations, and other stakeholders interested in the research and conservation of wildlife. We suggest that research CT-based should: 1) design a map of the study area with a grid of between 0.5 and two km². depending on the size of the study area; 2) install one location per square, containing one or two CTs for the study of the populational density; 3) characterizing the vegetation cover by estimating the Shannon index for the plant species; and 4) a minimum effort of 1000 CTs-days. The CT installation for the study of wild felines should be complemented with the report of other tracks (footprints, excreta, or marks), and the inclusion of two CT per location installed perpendicular to the roads or sidewalks. Additionally, the Mark, Capture, and SPACECAP programs should be used to estimate feline populations.

Key words: camera traps, density, species inventory, ecology, population monitoring.

Amostragem de populações de vida selvagem usando câmeras remotas sensíveis ao movimento (armadilhas fotográficas)

Resumo

Nas últimas décadas houve um aumento no interesse no monitoramento de vida silvestre através de câmeras-trap (CT). Esta ferramenta possibilitou a análise de grandes pacotes de dados com elevada acurácia sobre a dinâmica de espécies silvestres. Os resultados obtidos com uso desta tecnologia permitiram estudar a fauna silvestre em período variáveis, de forma pouco invasiva e facilitando a estimativa de variáveis como ocorrência, ocupação, diversidade, densidade, padrão e taxas de atividade. Esta técnica também permite a inserção de covariáveis ambientais que permitem analisar a ecologia das espécies. O objetivo deste trabalho foi elaborar um manual de uso da técnica de CT aplicado ao monitoramento de espécies silvestres de vida livre que incluem mamíferos herbívoros e carnívoros e répteis classificados em diferentes tamanhos e distribuídos no continente americano. Os atributos dos estudos de CT que utilizamos incluem: espécie, área de amostragem, localização geográfica, número de unidades amostrais, número de câmeras por unidade amostral, duração da amostragem, posição da câmera e distância mínima entre câmeras. A comparação de diversas aplicações desta técnica nos permitiu propor recomendações para que a sua utilização se estenda a comunidade científica, estudantes, populações rurais, e a qualquer indivíduo interessado no conhecimento e conservação da vida silvestre. Em termos gerais nossa proposta pretendeu ser simples. As recomendações a protocolos de pesquisa que utilizem CT são: 1) elaborar um mapa da área de estudo com uma grade de quadrantes com 0.5, um ou dois km², variando de acordo com o tamanho da área de estudo; 2) instalar uma UA por quadrante que poderá conter uma CT, ou duas caso queira avaliar densidade populacional; 3) caracterizar a cobertura vegetal das unidades amostrais utilizando o índice de Shannon para espécies vegetais; y 4) considerar um esforço amostral mínimo de 1000 dias CT. Se a amostragem for focada em felinos, a instalação da CT deve ser complementada pelo registro de indícios (pegadas, fezes ou marcas) e instalação de duas CT de maneira perpendicular às trilhas ou veredas. Somado a isso, recomendamos o uso dos programas Mark, Capture y SPACECAP para realizar estimativas populacionais dos felinos.

Palavras chave: armadilhas fotográficas, densidade, inventário de espécies, ecologia, monitoramento populacional.

Introducción

En la actualidad, la técnica de monitoreo de fauna silvestre mediante el uso de cámaras fotográficas sensibles al movimiento a distancia o cámaras trampa (CT) está en auge, ya que facilita la adquisición y sistematización de la información necesaria para interpretar los fenómenos ecológicos que se desean estudiar (Howe *et al.*, 2017). El uso de CT es particularmente útil en estudios en los que el área de muestreo es demasiado amplia debido a patrones de conducta de determinadas especies objetivo, o cuando la especie es elusiva y se dificulta su observación. El reto de los investigadores consiste en usar los datos generados con el mayor provecho para hacer inferencias objetivas sobre el estado de las poblaciones de fauna silvestre (O'Brien, 2011); no obstante, existen variaciones considerables en la forma de manejo de las CT, los tipos de CT utilizadas, la información recabada y la manera de almacenar y analizar los datos resultantes. Como regla general, los estudios publicados deberían presentar el diseño y la metodología del estudio, de tal manera que los lectores puedan replicar cualquier aspecto de la investigación y comparar los resultados con los de otras investigaciones (Meek *et al.*, 2014). Sin embargo, en muchas ocasiones las CT se utilizan de forma inadecuada y su uso no alcanza el propósito perseguido (Meek *et al.*, 2014).

Es importante señalar que los objetivos de la investigación determinan la forma

de manejo de los datos (Jost & González, 2012). Los principales usos de las CT incluyen la estimación del rango de distribución geográfica de diversas especies, de su abundancia relativa, ocupación y uso de hábitat, al igual que el análisis de patrones de actividad entre especies e interacciones ecológicas (Mandujano & Morteo-Montiel, 2018). Asimismo, la importancia del uso de las CT en proyectos de índole socioambiental radica en la generación de conocimiento para programas de conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos. De este modo, a través de la capacitación, se fomenta el desarrollo de comunidades autogestoras en sintonía con la dinámica ecológica del lugar en donde habitan, para proteger y conservar (Hurtado & Soto, 2017). La aplicación de esta metodología también permite conocer el impacto de las actividades humanas sobre los sistemas biológicos. Adicionalmente, se pueden planificar futuros inventarios de especies silvestres con mayor fiabilidad y precisión, lo que mejora el seguimiento de estas y sus poblaciones a través del tiempo (Blake *et al.*, 2017). Finalmente, la estandarización de los informes permite realizar comparaciones más sólidas entre los estudios, la replicación de estos e, incluso, la realización de metaanálisis para integrar diferentes grupos de investigación. Todo esto conduce a mejorar los resultados de la investigación y el manejo de la vida silvestre.

Este documento pretende ser un manual que permita que los estudios realizados a través de la técnica de fototrampeo sean comparables entre sí, lo que incluye investigaciones sobre abundancia relativa, uso

de hábitat, densidad en mamíferos, patrón de actividad y elaboración de inventarios de reptiles.

Materiales y métodos

Para la construcción del protocolo se realizó una búsqueda de literatura basada en artículos publicados en revistas indexadas, principalmente en el Journal Citation Report, Scopus, Willey, BiOne y Google académico. Las palabras clave consideradas fueron cámara trampa, fototrampeo, y los nombres científicos y vulgares de especies animales. Los criterios de selección fueron atributos de área de muestreo, ubicación geográfica, número de locaciones, número de cámaras por locación, duración de muestreo, zona de colocación y distancia mínima entre cámaras.

El análisis de la información fue realizado con base en dos criterios generales:

- Grupos de animales (mamíferos de diferentes tamaños, felinos y reptiles)
- Objetivo de muestreo

Resultados

En general, para mamíferos de diversos tamaños (herbívoros y felinos), las CT se utilizan para determinar la abundancia, la ocupación, la presencia-ausencia, los patrones de comportamiento, el índice de

antropización, la captura y recaptura, y el uso de hábitat (Anexos 1 y 2). En contraste, para el caso de los reptiles el uso más frecuente es la realización de inventarios, seguido del estudio de patrones de actividad (Anexo 3). Los resultados del análisis de la información evaluada mostraron una gran diversidad de objetivos y especies, y también de formas de instalación y configuración de las CT, por lo que la propuesta consiste en establecer criterios de uniformidad de factores como el número de días trampa, el número y tamaño de las locaciones, la distancia, ubicación, forma y altura de colocación de las CT y la caracterización del sitio de muestreo.

Uso de cámaras-trampa en el estudio de mamíferos

Se pueden calcular los índices de abundancia relativa por especie mediante el uso de transectos lineales y el conteo de indicios animales (Lemma & Tekalign, 2020). Sin embargo, otros autores han utilizado las imágenes de las CT para estimar la abundancia relativa según el número de individuos capturados por cada 100 días; en ese caso, un día trampa corresponde al número total de imágenes que una CT puede capturar en 24 h (Gronwald & Russell, 2021). La información obtenida de esta forma es un método más exacto para estimar los inventarios de mamíferos en el bosque húmedo amazónico cuando se utilizan 1000 días-cámara trampa (Tobler et al., 2008). Ambas recomendaciones (100 o 1000 días) se basan en el trabajo de estos últimos investigadores, quienes encontraron que con 60 días de muestreo

se puede registrar el 87 % de las especies del área de estudio, mientras que para tener una probabilidad del 95 % de encontrar todas las poblaciones se requieren 1000 días de muestreo. En contraste, Díaz-Pulido y Payan (2012) plantean que un esfuerzo de 400-500 días de muestreo permite registrar las especies de mamíferos más comunes, mientras que el registro de especies poco comunes o elusivas requiere un mínimo de 350 días-cámara trampa con una probabilidad de captura del 5 %, o llevar a cabo un esfuerzo de muestreo de 3000 días-cámara trampa para tener una probabilidad de captura del 95 %.

La estimación de la abundancia relativa permite realizar comparaciones en cuanto a la frecuencia de visita de diferentes especies animales al mismo o a diferentes sitios, con base en los datos de presencia y ausencia. Para este fin se requiere que la información extraída de la base de datos de los equipos de fototrampeo incluya fecha, horario, ubicación, temperatura y fase lunar. Esta información permite realizar determinaciones de uso de hábitat y analizar el traslape del uso de recursos de distintas especies de fauna silvestre.

Para realizar inventarios de especies de fauna silvestre se pueden colocar estaciones con una sola CT en cada locación del estudio. El arreglo espacial de las CT para este tipo de estudio es flexible; por lo tanto, no hay requisitos especiales sobre distancias mínimas entre ellas. Los estudios revisados (Anexo 1) demuestran que el área cubierta por cada CT tiene poco impacto sobre el número de especies detectadas

(Tobler *et al.*, 2008); así, los inventarios pueden realizarse en un área relativamente pequeña, y asumir que esta es representativa del área total de estudio. Sin embargo, el aumento en el área de muestreo permite un análisis estadístico más riguroso e inferencias sobre la ocupación. De esta forma, recomendamos que en estudios en áreas mayores a 25 km² se elabore la construcción de una cuadrícula con celdas de 1 km² y se coloque una cámara por cada locación (celda); si el estudio se realiza en un área superior a los 100 km² se recomienda que el tamaño de la celda sea de 2 km².

Número y tamaño de locaciones y cámaras

El número de locaciones donde se colocan las CT depende del tamaño del área de estudio, para lo cual se requiere realizar una cuadrícula del área mediante sistemas de información geográfica (SIG). En la bibliografía revisada, dichas cuadrículas varían de tamaño desde 0,25 hasta 1,5 km², y la más frecuente es la cuadrícula de 1 x 1 km (Larrucea *et al.*, 2007; Coon *et al.*, 2020). El número de CT que se pueden utilizar en cada investigación depende principalmente de su disponibilidad. Sin embargo, todos los estudios evaluados en este trabajo reportan al menos una CT por locación. Consecuentemente, si no se tiene un número de CT igual al de las locaciones, se sugiere una secuencia rotacional que permita el recambio de las CT. Adicionalmente, se requiere verificar que el muestreo cubra todos los tipos de hábitat del área de estudio y que el tiempo (esfuerzo de muestreo)

garantice que no se subestimen las observaciones (Tobler *et al.*, 2008). Por otro lado, en el caso de los reptiles, cuyo hábitat está muy relacionado con el agua (por ejemplo, *Caiman crocodilus yacare* y *Melanosuchus niger*), el número de locaciones se determina por los sitios de anidamiento, de tal forma que un nido es una locación (Hénaut & Charruau, 2012; Campos *et al.*, 2016; Torralvo *et al.*, 2017). El Anexo 2 muestra la diversidad en el número de locaciones en estudios de felinos. Muchos de los trabajos revisados utilizan la presencia de indicios (huellas, pelos, excretas y rastros), así como la información de la población local (Rosas-Rosas & Bender, 2012; Ávila-Nájera *et al.*, 2015; Hernández-SaintMartín & Bender, 2020) para delimitar el área de colocación de las cámaras. Adicionalmente, se recomienda el uso de programas de cómputo (Mark, Capture y SPACECAP) diseñados para hacer las correcciones necesarias (White *et al.*, 1978; White & Burnham, 1999; Gopalswamy *et al.*, 2012).

Distancia entre cámaras

Para registrar ungulados y carnívoros, la mayor parte de los trabajos revisados han utilizado una distancia entre CT que va desde 0,47 hasta 4 km. Sin embargo, los valores más comúnmente usados para el caso de felinos van de 1,5 a 2 km; aparentemente estos valores mejoran la captura-recaptura de los animales (Anexo 2). En el caso de ungulados y carnívoros pequeños, la distancia más frecuente es de 1 km (De Luna *et al.*, 2017; Coon *et al.*, 2020).

Cuando el objetivo es determinar la presencia o ausencia de especies y elaborar inventarios, las CT son una buena herramienta; estas pueden ubicarse en un sistema de transectos simplecercanas, con una alta densidad de cámaras, por ejemplo, 5 CT por transecto (Evans *et al.*, 2019) para garantizar un esfuerzo de muestreo adecuado. Una distancia reducida (500 m) entre estaciones de CT incrementa la posibilidad de detección de individuos. El aumento en la densidad de equipos se relaciona positivamente con el número de capturas efectivas obtenidas. Sin embargo, la información detallada sobre los patrones de movimiento y el uso de hábitat por parte de la fauna requiere un equilibrio entre las distancias de las estaciones de fototrampeo en el tiempo y el espacio, ya que la cercanía entre estas reduce el área cubierta y, con ello, disminuye el número de individuos capturados o fotografiados; por su parte, un espacio amplio entre las CT reduce su exposición, pero abarca un mayor espacio de muestreo (O'Brien, 2011). Como parte de este protocolo, proponemos establecer una distancia entre locaciones de CT de 500 m para animales de talla pequeña y 1000 m para el muestreo de mamíferos medianos.

Ubicación de la cámara

Generalmente, las áreas de muestreo se eligen en función de la probabilidad de obtener registros de fauna y de la facilidad de acceso dentro de la zona de interés (O'Brien, 2011). En el estudio de felinos existen diferentes opciones para colocar las estaciones de muestreo: el análisis de la bibliografía

revisada sugiere que las estaciones deben establecerse cerca de caminos principales o secundarios, roda fuegos, senderos, pasos de fauna o cuerpos de agua (Anexo 2). En contraste, para el estudio de ungulados, las CT suelen colocarse en locaciones previamente generadas a través de un modelo estocástico, es decir, al azar. La asignación de las CT a una locación determinada es el resultado de un sorteo. Sin embargo, es importante que la distancia entre ellas garantice que el mismo animal no aparezca en dos cámaras diferentes, de tal forma que las observaciones sean independientes. Esto es fundamental porque evita que se sobrestime el número de individuos de esa población.

De la información analizada previamente se puede concluir que la ubicación de las cámaras depende de la especie animal que se pretende estudiar. En el caso de mamíferos de diversas tallas, las CT se pueden colocar de forma aleatoria dentro de las locaciones preseleccionadas, mientras que en estudios de felinos silvestres se aconseja instalarlas en caminos senderos o en brechas cercanas a estos. En estudios de reptiles, si la especie es terrestre, se sugiere situar las CT cerca de los caminos o transectos; en cambio, si se trata de reptiles de preferencia acuática, se recomienda ubicar las CT cerca de los nidos activos.



Figura 1. Estas CT fueron instaladas en una Unidad de Manejo de Vida Silvestre (UMAS) en Puebla, México: 1) colocación de la cámara trampa con una inclinación de 30° enfocando el sendero; 2) ubicación de la cámara trampa a 60 cm de altura, perpendicular sobre el sendero. Las cámaras están protegidas con una coraza metálica para evitar que la lluvia las dañe o que las alteren algunos animales que se acercan a morderlas.

Forma y altura de colocación

Las estaciones de fototrampeo son las áreas donde se deben colocar las CT previamente programadas. Se aconseja ubicarlas en soportes estables, como árboles, troncos secos o estructuras resistentes, que permitan un apoyo adecuado del equipo a una altura de 50 a 60 cm respecto al suelo (Chávez *et al.*, 2013). Esto facilita que el campo focal esté proyectado al frente (Figura 1) y asegura la captura de la mayor parte de las especies de fauna (Figura 2).

Es recomendable verificar el encuadre con antelación mediante pruebas de captura, es decir, caminar frente a las CT ya instaladas asemejando la trayectoria de los animales. Las CT se deben poner en posición perpendicular al camino o sendero, de tal forma que se puedan captar los flancos del animal, ya que esto permite la identificación de los individuos con manchas o marcas propias (Kelly *et al.*, 2008). Adicionalmente, dependiendo de las condiciones climáticas de la región, se recomienda protegerlas contra la lluvia y los animales curiosos.



Figura 2. Registros fotográficos de diferentes animales captados con CT colocadas en senderos: 1) macho de *Odocoileus virginianus*, 2) *Canis latrans*, 3) macho de *Odocoileus virginianus*, 4) *Urocyon cinereoargenteus*.

Caracterización del sitio de muestreo

Dentro de las estaciones de muestreo se debe caracterizar la estructura vegetal, porque un animal utiliza estos recursos principalmente como fuentes alimentarias o zonas de anidación, descanso y resguardo. Dentro de esta estructura vegetal se recomienda determinar la cobertura de escape, definida como la cobertura (vegetal o estructural) que le permite al animal esconderse de los depredadores y reducir el riesgo de ataques (Mysterud & Ostbye 1999), así como establecer la cobertura basal, y la riqueza y abundancia de flora. Estas variables proporcionan información relevante para entender el uso y el estado del hábitat.

Considerando que algunas especies tienen un ámbito hogareño determinado por la distancia radial a las fuentes de agua, la identificación de los abrevaderos dentro del área de muestreo ayuda a realizar una mejor colocación de las estaciones de foto trampeo. Los saladeros naturales son lugares determinantes para satisfacer las necesidades minerales de algunas especies de herbívoros; por lo tanto, también pueden ejercer un efecto llamada sobre la fauna y aumentar la frecuencia de visita de aquellas especies con altos requerimientos minerales. Esta presumible elevada frecuencia de visita obliga al investigador a identificar adecuadamente dichas especies. En cualquier caso, cuando se hacen comparaciones de frecuencia de visitas entre especies, se debe tener cautela con la presencia de abrevaderos o saladeros, puesto que algunas de ellas suelen asistir en grupos (Tobler *et al.*, 2009).

En cuanto a la temporada de muestreo, en caso de presentar limitaciones técnicas para realizarlo durante la época húmeda y de estiaje, es preferible hacerlo en época de sequía, ya que es el periodo en que disminuye la cobertura vegetal, la disponibilidad de agua y la biomasa útil para alimentación (O'Brien, 2011). En resumen, dentro de las estaciones de muestreo se debe caracterizar la cobertura de escape, la cobertura basal, la riqueza y la abundancia de flora, información relevante para entender el uso y estado del hábitat. Además, para mejorar la elección del sitio de colocación de las estaciones se recomienda identificar los abrevaderos asociados al área de muestreo.

Atrayentes

En el caso de los mamíferos carnívoros existen sustancias atrayentes que se colocan en las estaciones como estrategia para mejorar su observación o actividad de caza. No obstante, si queremos determinar densidades relativas de poblaciones presentes, esta estrategia, junto con la presencia de saladeros y agujajes, podría aumentar el número de individuos captados en las imágenes y modificar las estimaciones realizadas. Asimismo, el uso de atrayentes puede alterar el rango de distribución de la especie focal en una forma similar a la observada con los agujajes. Esto quiere decir que los animales se mantienen cerca de los cebos (Figura 3), lo cual reduce la migración de individuos y aumenta su presencia en el área de interés (Lewis & Rongstad, 1998; Kilpatrick & Stober, 2002; Gundersen *et al.*, 2004). Los cebos utilizados suelen ser de



Figura 3. Uno de los efectos no deseados del uso de atrayentes para venados, como el venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), es el aumento de la presencia de depredadores en las áreas de administración del cebo. La imagen muestra el registro fotográfico, mediante las CT, de un individuo de *Lynx rufus* en un área con atrayentes para herbívoros mayores.

carne de pollo o semillas (para pequeños mamíferos) (Shepherd & Ditgen, 2012), aceite y carne de castor, y esencias vegetales (Jędrzejewski *et al.*, 2017; Evans *et al.*, 2019; Coon *et al.*, 2020).

Manejo de las cámaras

Dependiendo del clima y la época del año, las CT deben protegerse de la lluvia, preferentemente con una coraza metálica impermeable o con algún tipo de cubierta plástica (se puede utilizar una botella de plástico recortada para que no obstruya la

visibilidad del equipo). La dinámica de recolección de fotografías, limpieza de las CT y cambio de pilas/baterías debe realizarse periódicamente, lo cual se registra en formatos en el campo para evitar confusiones (Díaz-Pulido & Payán, 2012).

En el caso de las pilas/baterías es altamente recomendable determinar su vida útil mediante un voltímetro, y reemplazarlas cuando a esta le resta entre 10 y 20 %; esto garantiza, por un lado, que el esfuerzo de muestreo no se trunque y, por otro, que se protege a las CT del riesgo de daño por la explosión de alguna de las pilas/baterías.

Distribución y frecuencia de avistamientos

Existen varios *softwares* de libre acceso que facilitan el ordenamiento de las carpetas fotográficas derivadas del muestreo (Mandujano & Morteo-Montiel, 2018). Como parte de este protocolo se propone que, independientemente del objeto de estudio, se estime la frecuencia de visita en cada sitio a partir de la medición de la presencia (número, género y estado fisiológico) de animales; es decir, la relación entre el número de animales por especie y el total de animales capturados. Este indicador es utilizado como medida indirecta de la abundancia relativa de mamíferos menores, herbívoros silvestres y carnívoros, entre otros (LaFleur y Pebsworth, 2017).

Abundancia relativa

La abundancia es una medición frecuentemente usada para facilitar el entendimiento de la presencia relativa de las diferentes especies con respecto a la diversidad total en un ecosistema ponderado por el tiempo de esfuerzo, y para posibilitar el análisis de la riqueza de las comunidades e interacciones presentes. Es importante complementar las estimaciones de abundancia con pruebas estadísticas para hacer inferencias sobre el estado y el manejo de poblaciones reales, ya sea para aprovechamiento o para aumentar los individuos de una población de fauna silvestre con fines de conservación, o bien para documentar la presencia y abundancia de especies crípticas.

El estimador de la abundancia relativa (AR) derivado del uso de CT se basa en la determinación de la presencia-ausencia de una especie dada. Esta metodología no es invasiva y permite reportar especies que son muy difíciles de registrar con otras metodologías de muestreo *in situ*; este es el caso de muchas de las especies carnívoras como los grandes felinos, que suelen evitar las perturbaciones humanas (Chávez *et al*, 2013).

El índice de abundancia relativa (IAR) se suele expresar como el número de avistamientos o fotografías de la especie en relación con la duración del muestreo (días). Su propósito es indicar de una manera indirecta la abundancia de cada especie. En esta estimación se asume: 1) una relación lineal positiva entre la abundancia de la población y el IAR; 2) el IAR de una misma especie se comporta similar en diferentes localidades y estaciones del año; 3) la probabilidad de detección de una especie es constante o similar en comparación con otras especies; y 4) el IAR no es afectado por la ubicación de las CT como herramientas de muestreo (Mandujano, 2019). Asimismo, la abundancia puede ser evaluada de manera absoluta en términos de número de individuos registrados por unidad de área (Chávez *et al*, 2013). En cualquier caso, la precisión de las estimaciones de abundancia absoluta comparada con el tamaño de la población real estará sesgada debido a que influyen factores inherentes a las características del hábitat y al esfuerzo de muestreo. Sin embargo, existen otras metodologías complementarias para realizar estimaciones de abundancia y de ocupación que contemplan

variables del hábitat y generan índices estadísticos de referencia.

El IAR de una especie se calcula a partir del número de fotos independientes de una especie (X_i) en relación con el número total (Y_i) de fotos del muestreo por el factor de corrección 100 o 1000 (días trampa):

$$AR = (X_i / Y_i) \times 100 \text{ días trampa}$$

Asimismo, la estimación del índice de Shannon permite cuantificar la biodiversidad específica en el área de muestreo. Este índice muestra la heterogeneidad del área de estudio, y considera tanto el número de especies presentes como su abundancia relativa (Jost y González, 2012). Como parte de este protocolo se propone que esta última variable se calcule a partir del número de fotos independientes de una especie sobre el número total de fotos del muestreo por el factor de corrección 1000 (días-trampa cámara).

Uso de hábitat

El patrón de uso del hábitat de especies simpátricas, que están estrechamente relacionadas o son ecológicamente similares, permite obtener información sobre cómo dichas especies utilizan los recursos con base en la preferencia de ocupación de ciertas áreas y sus variaciones en el tiempo. Esta información puede contribuir a mejorar la comprensión de la ecología animal.

Actualmente, el uso de las CT se ha dirigido a la determinación del uso de hábitat por medio de la estimación de la abundancia. Esto se fundamenta en que las CT proveen información sobre el momento exacto

de la presencia de una especie en un sitio concreto, lo que permite un análisis generalizado de cómo las especies utilizan los recursos según la preferencia de ocupación de ciertas áreas. De tal forma, el uso de las CT permite estudiar la diferenciación de nicho, la interacción entre dos o más especies, así como las variaciones en el tiempo y el espacio (Keuroghlian *et al.*, 2004).

Entre los métodos aplicados para evaluar los patrones de uso del hábitat por los grandes mamíferos se encuentra el índice de uso de hábitat. Este índice estima la relación entre la ocurrencia observada y la esperada por medio de una prueba de chi cuadrada (Neu *et al.*, 1974; Monroy-Vilchis *et al.*, 2009). Sin embargo, existen otras herramientas de análisis de metadatos (Meredith & Ridout, 2014; Mandujano, 2019) basadas en el uso de modelos lineales generalizados (Nelder & Wedderburn, 1972; Martins *et al.*, 2007) que permiten examinar covariables únicas o en combinación aditiva, con la finalidad de esclarecer cuáles poseen un efecto sobre la distribución de especies. La conjunción de las CT y los modelos lineales de ocupación generan un método de análisis que promete estimaciones precisas sobre la abundancia y el uso del hábitat (Duquette *et al.*, 2020).

Estudios de grandes felinos

Las modificaciones antropogénicas del hábitat han impactado la vida silvestre de muchas maneras, y esto ha causado amplios cambios que van desde la calidad de los nutrientes hasta la distribución de recursos. De esta forma, se ha alterado la relación depredador-presa en una forma

no lineal, hecho que hace más desafiante la conservación exitosa de especies en ambientes de uso mixto (Coon *et al.*, 2020). Como consecuencia de esta fragmentación del área, las poblaciones de felinos se están reduciendo (Monroy-Vilchis *et al.*, 2009). Recientemente, el uso de las CT, combinado con modelos de captura-recaptura, ha hecho posible la estimación de la abundancia y la densidad de varias especies de carnívoros; por ejemplo, la abundancia y densidad del puma han sido evaluadas en México, Belice, Bolivia y Argentina (Maffei *et al.*, 2004; Kelly *et al.*, 2008; Soria-Díaz *et al.*, 2016).

El muestreo de captura-recaptura consiste, básicamente, en extraer una muestra aleatoria de una población dada. Este individuo se marca mediante algún método y posteriormente se libera en su ecosistema. Pasado un tiempo, se vuelve a coleccionar una muestra aleatoria de la misma población y se determina el número de individuos de esta nueva muestra que están marcados, es decir, el porcentaje de los individuos que han sido colectados en ambos muestreos. Mediante la realización de este experimento se puede estimar el tamaño de la población.

En el caso de las CT, los individuos son identificados gracias a sus rasgos naturales, cicatrices, género y patrones de coloración (Kelly *et al.*, 2008). Esta identificación individual, junto con los modelos de recaptura, es necesaria para determinar la abundancia. Es importante señalar que todos los estudios revisados consideran un número variable de CT, así como diversas distancias entre ellas; en consecuencia, el

impacto de estas modificaciones metodológicas no ha sido determinado.

Debido a que la naturaleza singular de los patrones de coloración y estampado del pelaje en algunas especies de felinos mayores facilita su identificación individual, los estudios de estos animales permiten estimar la densidad poblacional mediante métodos de captura-recaptura. En este método, el número de CT por estación debe ser mínimo de dos, y estas tienen que colocarse a los lados del camino o sendero para asegurar que durante la trayectoria del animal se consiga el registro fotográfico de ambos lados de cada individuo (Kays *et al.*, 2021). Por otra parte, la estimación de la densidad de individuos que no sean identificables se puede realizar gracias al uso de modelos de encuentros aleatorios, que estiman la densidad absoluta en función de la tasa de detección (Rovero & Marshall, 2009; Howe *et al.*, 2017). Según este modelo, el esfuerzo de muestreo debe ser mayor a 1000 días trampa para detectar a las especies en todas las locaciones.

Para mejorar la precisión, la ubicación geográfica de las cámaras debe establecerse a partir de la elaboración de un mapa con una cuadrícula de 1 a 2 km² (igual a la descrita en el apartado de abundancia relativa).

La fórmula de la estimación de la densidad es la siguiente:

$$D = \left(\frac{N}{A} \right) \times 100 \text{ km}^2$$

Donde N es el número de avistamientos de la población y A es el área de muestreo.

Finalmente, el resultado se multiplicará por un área definida de 100 km² para conocer los individuos esperados en un área de esta magnitud.

Estudio de reptiles

Son escasos los estudios publicados sobre la observación de reptiles del tipo saurios, ofidios y cocodrilianos, con base en el uso de CT como herramienta de muestreo. Los objetivos de investigación de los pocos estudios disponibles se centran en seis enfoques preponderantes: 1) registro de depredadores; 2) incidencia de depredación en temporadas de anidación e interacciones con vertebrados terrestres (Da Silveira *et al.*, 2010; Mesa-Zavala *et al.*, 2012; Campos & Mourão, 2015; Campos *et al.*, 2016; Torralvo *et al.*, 2017; González-Desales *et al.*, 2020); 3) antropización y evaluación del grado de perturbación de nidos provocado por manejadores de vida silvestre (Hénaut & Charruay, 2012; Stasiukynas *et al.*, 2021); 4) cambio de comportamiento de las especies relacionado con las modificaciones de las condiciones meteorológicas de la región (Agha *et al.*, 2015); 5) patrones de actividad (Srbek-Araujo *et al.*, 2020); y 6) identificación individual de reptiles para estimar la densidad de la población (Moore *et al.*, 2020).

A partir de las investigaciones citadas se suelen elaborar inventarios de especies avistadas o especies que forman parte de la dieta de depredadores. Un aspecto para resaltar es que en el 90 % de los estudios revisados no se ha delimitado el área de muestreo con precisión. Dependiendo del

tipo de reptil estudiado, esta delimitación puede estar condicionada por la presencia de zonas de anidación. La mitad de las referencias revisadas situaron las CT enfocando directamente al nido; la segunda ubicación más frecuente fueron las zonas cercanas a cuerpos de agua o escurrimientos y, en menor medida, se colocaron en senderos o pasos de los reptiles.

El número de equipos por locación generalmente fue de una CT por sitio. Sin embargo, los estudios realizados en riberas optaron por establecer estaciones con un número variable de 2 a 5 equipos, por lo que no hay consenso en la densidad de CT por metro cuadrado. Actualmente, muchas de las CT basan su activación en el uso de sensores de tipo infrarrojo; sin embargo, el uso de dichos sistemas de activación para recopilar información de los taxones poiquilotérmicos puede ser limitado o inexacto en condiciones ambientales, ya que la baja temperatura ambiental puede impedir su activación al no identificar la fuente de calor que proviene del animal. En la actualidad, las CT tienen la capacidad de capturar registros fotográficos durante un intervalo de tiempo programado sin depender del uso de un sistema de disparo por infrarrojos. Esta estrategia ha mejorado de una forma altamente significativa la captura de especies con escamas diurnas y terrestres (Adams *et al.*, 2017).

Los métodos de análisis estadístico del estudio de reptiles mediante CT suelen basarse en pruebas no paramétricas sobre diferentes variables respuesta, que incluyen la identificación de especies asociadas

(por ejemplo, interacción depredador-presa, tasas de depredación o de ataques por depredadores), las tasas de visitas, la mortalidad y supervivencia de huevos, los coeficientes de solapamientos de actividades, y el comportamiento de reptiles hembras expuestas a riesgos latentes de depredación (Figura 4).

A diferencia de estudios en grandes mamíferos, los muestreos en reptiles abarcan periodos cuya duración suele ser de 2 a 4 meses. La época del año adecuada para

realizar el estudio depende de la temporada de anidación de la especie de interés. Las CT se colocan principalmente en estacas o árboles, con un campo focal inclinado hacia el suelo y en dirección al nido. Se recomienda configurar la programación de los equipos en modo de secuencia de captura de 5 fotografías y un monitoreo continuo día y noche, aspecto que no difiere respecto a otras especies. Finalmente, es poco frecuente el uso de cebos o atrayentes porque los lugares muestreados suelen ser tener una alta probabilidad de captura.



Figura 4. Registros de cámaras trampa: 1) ubicación de una cámara trampa enfocando a un nido de *Caiman latirostris*; 2) registro de un *Caiman latirostris* en su nido; 3) registro de un *Sus scrofa*, predador de huevos de *C. latirostris*; 4) registro de un *Lycalopex gymnocercus*. Fuente: CICYTTP

Ventajas

El uso de CT es una estrategia de monitoreo que tiene varias ventajas, a saber:

- Es de fácil aplicación y muy bajo costo comparada con la utilización de otros métodos de monitoreo de fauna silvestre como la telemetría (con equipos muy caros), la determinación y revisión de transectos (con gran requerimiento de recursos económicos, humanos y de tiempo) o el análisis de indicios animales (requiere de personal muy especializado y es, en ocasiones, subjetiva). Además, en todos los casos mencionados, las condiciones climáticas suelen limitar la movilidad de los equipos humanos.
- Es objetiva debido a que genera muy pocas dudas sobre la identificación de la especie observada y, si bien es cierto que en la literatura existen bastantes manuales sobre la utilización de CT, solo algunos de ellos han sido elaborados a partir de las publicaciones de artículos científicos de alto nivel.
- Su uso generalizado permite comparar los resultados obtenidos en diferentes regiones (Anexo 4).

En el presente documento se incluye información para que el lector pueda observar diferentes formas de manejo de las CT y tomar una decisión a partir de las recomendaciones propuestas. De esta forma, el investigador puede generar su propio protocolo y determinar si sus resultados pueden ser comparados con los de la literatura revisada.

Desventajas

Uno de los aspectos que no aborda este manual es la configuración de las CT, debido a que en el mercado existe una gran diversidad de marcas y modelos que se actualizan muy frecuentemente. Esta variación de modelos causa constantes modificaciones en la mayor parte de los parámetros de configuración, desde las características físicas de la cámara (tamaño, color) hasta el tipo de sistema operativo, sensibilidad, *flash* o iluminación artificial. La información sobre la configuración es importante para reducir el tiempo invertido en aprender los conceptos que engloba y evitar que, en las etapas iniciales, el investigador ocupe hasta un 90 % de la memoria de sus cámaras con registros fotográficos sin animales. Desafortunadamente, muy pocos artículos mencionan de forma detallada la configuración seleccionada en las CT, por lo que es difícil hacer una propuesta.

Puntos críticos

Uno de los aspectos de mayor complejidad en el manejo de las CT es determinar el número de individuos registrados y definir los criterios de exclusión para contabilizarlos. Establecer estos criterios de exclusión permite minimizar el error al determinar la población o el estado de una comunidad en un sitio dado. Un mal criterio de exclusión

ocasiona un cambio en los estimadores evaluados. Estos criterios de exclusión dependen de la variable del estudio, los hábitos gregarios de la especie, el modelo de ocupación utilizado y el conocimiento que tiene el investigador sobre su objeto de estudio (Figura 5).

Otro aspecto que es importante contemplar es el uso de técnicas complementarias para mejorar la calidad de la información generada por las CT. Rosas-Rosas y Bender (2012) identificaron un mayor número de jaguares (*Panthera onca*) cuando utilizaron las CT en combinación con técnicas de identificación de huellas y excretas.

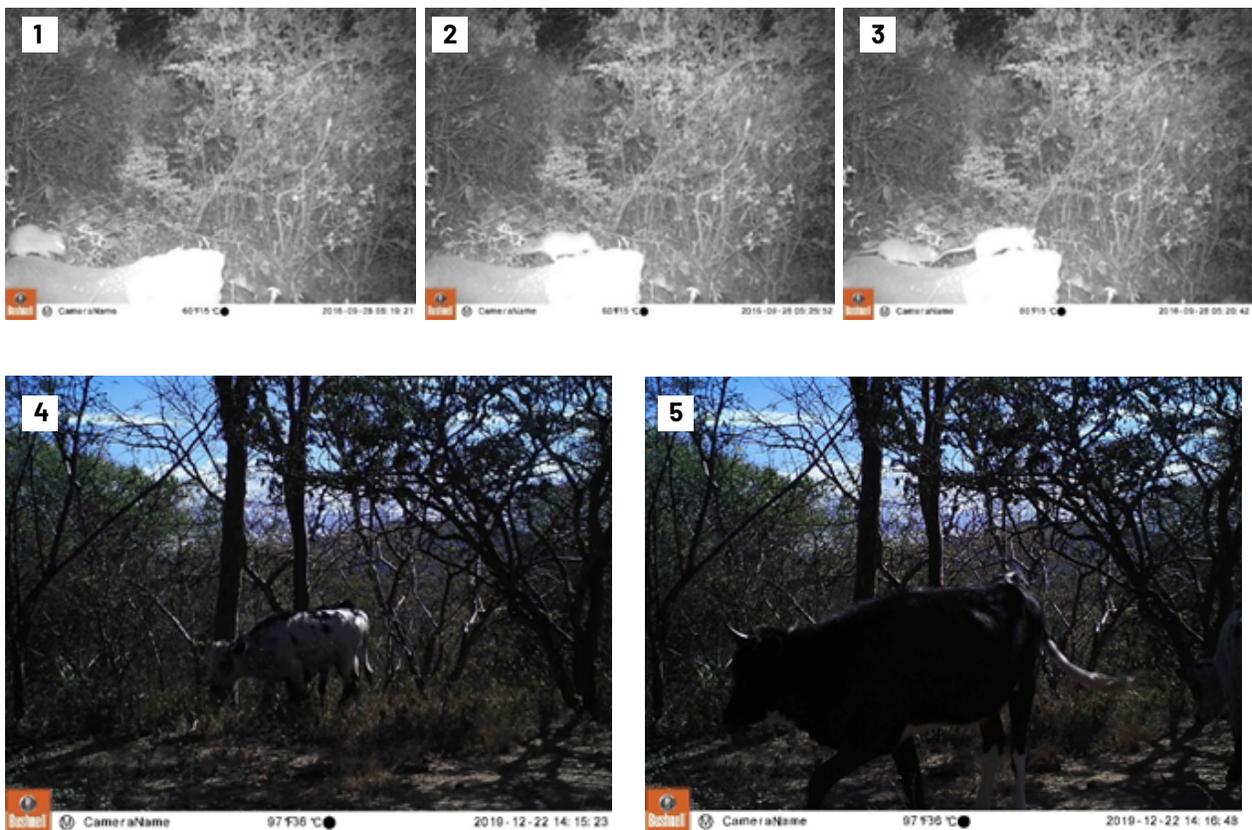


Figura 5. Imágenes que exponen dos casos conflictivos a la hora de determinar el número de registros de individuos. Las imágenes 1, 2 y 3 incluyen registros fotográficos de un roedor capturado: 1) a las 5:19:21 se registra; 2) a las 5:20:42 se registra una segunda visita, y (3) a las 5:25:52 se registran dos individuos. ¿Cuántos individuos son? ¿Dos, tres o cuatro? Las imágenes 4 y 5 presentan un caso similar de bovinos: 4) muestra el registro de un bovino capturado a las 14:15:23, y 5) hay un registro de otro bovino capturado a las 14:16:48, menos de un minuto después. En el caso de los bovinos no se puede fijar un tiempo mínimo para considerarlos independientes.

Conclusión

El uso de las cámaras trampa es una metodología de bajo costo que se puede utilizar de forma estandarizada y permite estimar con cierta facilidad la abundancia relativa, la densidad, la distribución y el uso del hábitat de diferentes especies de mamíferos y reptiles. Para poder comparar los resultados entre diferentes estudios publicados se requiere que el tamaño de las locaciones, la distancia entre cámaras y la caracterización de la cobertura vegetal se realicen en forma similar para replicar las condiciones de dichas investigaciones.

Agradecimientos

Agradecemos a la Dra. María de las Mercedes Guerisoli y a la Dra. Soledad Bustos por su apoyo al inicio del proyecto.

Este documento ha sido financiado en parte por la Fundación Gordon and Betty Moore Foundation, a través del proyecto GBMF9258 a Fundación Natura.

Glosario

Cámara trampa (CT) o trampa cámara (CT): se refiere a las cámaras fotográficas sensibles al movimiento a distancia.

Captura: fotografía de un animal captado con una CT. El número de capturas depende de criterios de exclusión definidos por el observador y de la especie que se pretende estudiar. Por ejemplo, un ratón se toma como un animal independiente si aparece en la misma secuencia de fotografías hasta después de dos minutos. En contraste, un bovino puede ser considerado independiente después de 15 segundos debido a que es diferenciable de otros animales.

Cobertura basal: porcentaje de vegetación que cubre el suelo.

Cobertura de escape: cobertura (vegetal o estructural) que permite al animal esconderse de los depredadores y reducir el riesgo de ataques.

Día-trampa: número de capturas fotográficas de una CT en 24 horas de operación. Se requiere que una CT esté instalada durante 100 días para lograr captar al 95 % de la población; sin embargo, si se instalan 10 CT, en 100 días se obtienen los 1000 días propuestos.

Locación: área donde se colocan las CT. Se obtiene a partir de una cuadrícula elaborada con programas de cómputo utilizados en sistemas de información geográfica. Las cuadrículas pueden variar de tamaño desde 0,25 hasta 2 km².

Anexo 1. Parámetros utilizados para la instalación de CT en la evaluación de mamíferos silvestres en diversas investigaciones

Ref.*	Especie	Categoría por tamaño	Variable de estudio	Área de muestreo (Km ²)	Ubicación geográfica de las cámaras	N.º estaciones	N.º cámaras por estación	Duración del muestreo	Colocación	Distancia mínima entre cámaras (km)
1	<i>Myocastor coypus</i>	Pequeño	Patrones de actividad	~0.5	Aleatoria	3	2-3	Continua, 365 días	Cuerpos de agua, senderos	~ 0.5
2	<i>Orix gazella</i>	Grande	Abundancia relativa, patrones de actividad	~800	Aleatoria	24	1	Continua	Fijas en postes	~ 196
3	<i>Cuniculus paca</i> <i>Dasyprocta</i> spp. <i>Nasua nasua</i> <i>Dasyopus novemcinctus</i> <i>Didelphis marsupialis</i> <i>Myrmecophaga tridactyla</i> <i>Priodontes maximus</i> <i>Eira barbara</i> <i>Mazama gouazoubira</i> <i>Mazama americana</i> <i>Pecari tajacu</i> <i>Tapirus terrestris</i> <i>Mitu tuberosum</i> <i>Psophia viridis</i>	Pequeño a mediano	Densidad relativa, tasa de ocupación	~70	Aleatoria	12	2	Continua	Zonas con indicios de actividad	3 a 4
4	<i>Canis latrans</i> <i>Pekania pennanti</i> <i>Mazama americana</i> <i>Lepus americanus</i> <i>Tamiasciurus hudsonicus</i>	Pequeño a mediano	Modelos de ocupación, probabilidad de detección	~870	Configuración en forma de T	32	5	Continuas 3 meses	Sitios accesibles, claros de vegetación, corredores de fauna	0,1 a 0,15
5	<i>Canis lupus</i>	Mediano	Interacción espaciotemporal interespecífica	~30	Diseño estratificado en celdas	21	1	Continua	Zonas con indicios de actividad	~ 1
6	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Grande	Detección, ocupación, perturbación antropogénica	~1000	Aleatoria, evitando caminos	106	2	Continua, 84 días	Lugares accesible para colocación con poca perturbación	~ 1,5

7	<i>Cuniculus paca</i>	Mediano a grande	Uso de hábitat	~750	Aleatoria	42	1	Continua	Zonas con indicios de actividad	ND**
8	<i>Tapirus pinchaque</i>	Grande	Ocupación	~320	Diseño estratificado, 115 celdas	115	1	Continua	Zonas con indicios de actividad	~1
9	<i>Eira barbara</i>	Pequeño	Comportamiento	ND	Aleatoria		1	Continua	Caminos o senderos	0,3-0,5
10	<i>Eira barbara</i>	Pequeño	Ocurrencia	~200	ND	208	1	Continua, 30 días	Zonas con indicios a 40-60 cm/suelo	~1,4
11	<i>Odocoileus virginianus</i>	Mediano a grande	Abundancia	~10	Aleatoria	3	1. ^ª est. 16; 2. ^ª est. 7; 3. ^ª est. 6	Continua	ND	~ 0,147 a 0,88
12	<i>Odocoileus virginianus</i>	Mediano a grande	Supervivencia anual	~12,14	Aleatoria	20	1	Continua, 10 a 29 días/año	ND	1/61 ha
14	<i>Odocoileus virginianus</i>	Mediano a grande	Riqueza, abundancia	ND	Aleatoria	10	20	Continua, mínimo 45 días	Zonas con indicios a 50 cm /suelo	~1
15	<i>Odocoileus virginianus</i>	Mediano a grande	Ocupación, densidad, tasas de detección	ND	Aleatoria	20	1199	Continua	Zonas con indicios a 50 cm /suelo	ND
16	<i>Odocoileus hemionus columbianus</i>	Mediano a grande	Abundancia, densidad, proporción de sexos, proporción de cervatillos, área de distribución	~43,8	Aleatoria	13	1	Continua	Fuentes de agua y senderos	ND
17	<i>Cerdocyon thous Conepatus semistriatus</i>	Pequeño	Ocupación	~600	Aleatoria en 60 celdas	58	1	Continua	Caminos no pavimentados	~15

*Ref.: referencia

** ND: no disponible

*** est.: estación

1. Mori et al. (2020); 2. Andreoni et al. (2021); 3. Martins et al. (2007); 4. Evans et al. (2019); 5. Rossa et al. (2021); 6. Semper-Pascual et al. (2020); 7. Figueroa-de León et al. (2016); 8. Mena et al. (2020); 9. Delgado-V et al. (2011); 10. Scrich et al. (2019); 11. Duquette et al. (2020); 12. Webb et al. (2010); 13. Contreras-Moreno et al. (2019); 14. Parsons et al. (2017); 15. Macaulay et al. (2019); 16. De Matos Dias et al., 2019.

Anexo 2. Parámetros utilizados para la instalación de CT en la evaluación de felinos silvestres en estudios de investigación realizados en algunos países de América

Ref.*	Especie	Categoría por tamaño	Variable	Área de muestreo (km ²)	Ubicación geográfica de las cámaras	N.º estaciones	N.º cámaras por estación	Duración del muestreo	Colocación	Distancia mínima entre cámaras (km)
1	<i>Panthera onca</i>	Grande	Densidad de población	~120	Estaciones de cámaras puestas a lo largo del sistema de caminos	20	2 enfrentadas	Muestreo continuo 365 días	Carriles	1,07
2	<i>Puma concolor</i>	Grande	Frecuencia de detección	~18 400	Cuadrícula con celdas de 1 x 1 km = 181 celdas	416	1	Muestreo continuo 2013 - 2017	Senderos y carriles	~ 1
3	<i>Panthera onca</i> <i>Leopardus pardalis</i> <i>Puma concolor</i> <i>Leopardus wiedi</i>	Grande y mediano	Abundancia relativa	~25	Locaciones de 1,78 km ²	14	1	Muestreo continuo dos años	ND	0,5-1,8
4	<i>Lynx rufus</i>	Mediano	Densidad de población	~78,1	Cuadrícula con celdas de 1 x 1 km con un buffer de 300 m	41	2	Muestreo continuo durante 6 meses	Senderos y carriles	~ 1,05
5	<i>Panthera onca</i>	Grande	Densidad de población	72	Cuadrícula con celdas de 3 x 3 km	29	2 enfrentadas	Rotatorio 30 días	Áreas con indicios de rastros	3
6	<i>Panthera onca</i>	Grande	Densidad y estructura de población	1850	Estaciones de cámaras puestas a lo largo del sistema de caminos	34-37	2 enfrentadas	Muestreo de 4 a 7 meses Experimento de 96 días	Senderos, carriles	2
7	<i>Panthera onca</i> <i>Leopardus pardalis</i> <i>Puma concolor</i>	Grande y mediano	Densidad de población	15 405	ND	107 en 4 años 23-27	2 enfrentadas	Fijas durante periodos cortos de tiempo	Senderos, carriles	1,5-3

*Ref.: referencia

** ND: no disponible

1. Hamsen et al. (2020); 2. Coon et al. (2020); 3. De Luna et al. (2017); 4. Young et al. (2019); 5. Nuñez-Pérez (2011); 6. Paviolo et al. (2008); 7. Ávila-Najera et al. (2015).

Anexo 3. Parámetros utilizados para la instalación de CT en la evaluación de reptiles en estudios de investigación realizados en América

Ref.	Especie	Categoría portamaño	Variable	Área de muestreo (km ²)	Ubicación geográfica de las cámaras	N.º estaciones	N.º cámaras por estación	Duración del muestreo	Colocación	Distancia mínima entre cámaras (km)
1	<i>Paleosuchus trigonatus</i>	Mediano	Inventario de especies	ND	4 locaciones (1 locación = 1 nido)	4	1	Fijas	ND	ND
2	<i>Caiman crocodylus yacare</i>	Mediano a grande	Comportamiento, inventario de especies	ND	57 locaciones (1 locación = 1 nido)	57	1	Fijas, 3-4 meses	Lugares de anidación	ND
3	<i>Salvator merianae</i>	Mediano	Patrones de actividad	>5 300	14 puntos de muestreo	14	1	Fijas durante 22 meses	En senderos dentro del bosque o en camino	ND
4	<i>Crocodylus acutus</i>	Grande	Comportamiento	ND	3 locaciones (1 locación = 1 nido)	3	1	Fijas, durante la nidificación; 6-14 días posteriores a la eclosión	ND	ND
5	<i>Caiman crocodylus</i>	Grande	Patrones de actividad	ND	1 locación	2	1	ND	ND	ND
6	<i>Salvator merianae</i>	Mediano	Uso de hábitat	ND	Cercanas a los cactus, a 2-5 m y apuntando hacia los frutos de las plantas	17	1	Fijas durante 10 meses	ND	ND
7	<i>Caiman crocodylus chiapasius</i> <i>Crocodylus acutus</i> <i>Crocodylus moreletii</i>	Mediano a grande	Inventario de especies	ND	54 locaciones 1 locación = 1 nido	4	5	Fijas, 3 meses	ND	ND
8	<i>Callisaurus draconoides</i> <i>Urosaurus nigricaudus</i> <i>Aspidocheilus tigris</i>	Mediano a grande	Uso de cuerpos de agua	ND	Alrededor de los cuerpos de agua	4	5	ND	ND	ND
9	<i>Gopherus agassizii</i>	Mediana	Patrones de actividad	ND	Nidos activos	48	ND	Fijas, durante 5 meses	En postes	ND
10	<i>Melanosuchus niger</i>	Mediana	Inventario de especies	ND	63 locaciones 1 locación = 1 nido	63	1	Fijas, 3 meses (periodo de nidificación completo)	(0,70-2,80 m) de los nidos	ND

*Ref.: referencia

** ND: no disponible

1. Moore et al. (2020); 2. Campos et al. (2016); 3. Campos et al., (2015); 4. Srbek-Araujo et al. (2020); 5. Hénaut & Charruau (2012); 6. Da Silveira et al. (2010); 7. González-Desales et al. (2020); 8. Mesa-Zavala et al. (2012); 9. Agha et al. (2015); 10. Torralvo et al. (2017). ND: No disponible.

Anexo 4. Recomendaciones para la colocación de cámaras trampa en el estudio de fauna silvestre

Clasificación por especie	Distancia entre locaciones (km ²)	Distancia entre cámaras (m)	N.º CT por locación	Ubicación	Forma de colocación	Caracterización del sitio de muestreo	Estimadores ecológicos	Variables de uso de hábitat
Mamíferos pequeños	0,25	500	1	Aleatoria en locaciones definidas previamente	Orientación vertical, en troncos y árboles a 60 cm de altura del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura basal • Cobertura de escape • Riqueza de especies vegetales • Riqueza de especies animales 	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de visita (factor de corrección 1000 día trampa) • Tasa de visitas • Índice de uso de hábitat 	<ul style="list-style-type: none"> • Preferencia de ocupación • Patrón de actividad
			1					
	Mamíferos medianos	0,50	1000	1				
Mamíferos grandes	1	1500	1-2					
Felinos	1	1,5 a 2	2	<ul style="list-style-type: none"> • Caminos no pavimentados • Senderos • Brechas 	Orientación vertical, enfrentadas, en troncos o árboles a 60 cm de altura del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización del hábitat anual, temperatura, precipitación • Identificación de presas 	<ul style="list-style-type: none"> • Abundancia relativa • Densidad relativa (Ind/100 km²) 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación individual • Patrón de actividad • Presencia y muestreo de indicios
			2-3	<ul style="list-style-type: none"> • Zonas de anidación • Ribera de cuerpos de agua o escurrimientos • Árboles 	Orientación vertical, 2 enfrentadas y en troncos o árboles a 60 cm de altura del suelo 1 con orientación horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización del hábitat • Monitoreo de temperatura y precipitación 	<ul style="list-style-type: none"> • Inventario • Incidencia de depredación en temporadas de anidación • Interacciones interespecíficas • Tasas de ataque 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación individual • Registro de depredadores • Comportamiento de nidificación • Patrones de actividad • Interacciones con vertebrados terrestres • Eventos de frugivoria
Cocodrilos	0,25	Aleatoria	2-3					

Referencias

- Adams C. S., Ryberg, W. A., Hibbitts, T. J., Pierce, B. L., Pierce, J. B. & Rudolph, D. C. (2017). Evaluating effectiveness and cost of time-lapse triggered camera trapping techniques to detect terrestrial squamate diversity. *Herpetological Review*, 48(1), 44-48.
- Agha, M., Agustine B., Lovich, J. F., Delaney, D., Sinervo, B., Murphy, M. O., Ennen, J. R., Briggs, J. R., Cooper, R. & Price, S. J. (2015). Using motion-sensor camera technology to infer seasonal activity and thermal niche of the desert tortoise (*Gopherus agassizii*). *Journal of Thermal Biology*, 49, 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2015.02.009>
- Andreoni, K. J., Wagnon, C. J., Bestelmeyer B. T. & Schooley, R. L. (2021). Exotic oryx interact with shrub encroachment in the Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments*, 184,104302. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104302>
- Ávila-Nájera, D. M., Chávez, C., Lazcano-Barrero, M. A., Pérez-Elizalde, S. & Alcántara-Carbajal, J. L. (2015). Estimación poblacional y conservación de felinos (Carnivora: Felidae) en el norte de Quintana Roo, México. *Revista Internacional de Biología Tropical*, 63(3), 799-813.
- Blake, J. H., Mosquera, D., Loiselle, B. A., Romo, D. & Swing, K. (2017). Effects of human traffic on use of trails by mammals in lowland forest of eastern Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 57-64. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1292756>
- Campos, Z. & Mourão, G. (2015). Camera traps capture images of predators of *Caiman crocodilus yacare* eggs (Reptilia: *Crocodylia*) in Brazil's Pantanal wetlands. *Journal of Natural History*, 49(15-16), 977-982. <https://doi.org/10.1080/00222933.2014.930757>
- Campos, Z., Muniz, F., Desbiez, A. L. J. & Magnusson, W. E. (2016). Predation on eggs of Schneider's dwarf caiman, *Paleosuchus trigonatus* (Schneider, 1807), by armadillos and other predators. *Journal of Natural History*, 50(25-26), 1543-1548. <https://doi.org/10.1080/00222933.2016.1155782>
- Chávez, C., De la Torre, A., Bárcenas, H., Medellín, R. A., Zarza, H. & Ceballos, G. (2013). *Manual de fototrampeo para estudio de fauna silvestre. El jaguar en México como estudio de caso*. Alianza WWF-Telcel, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Contreras-Moreno, F. M., Hidalgo-Mihart, M. G., Jesus-de la Cruz, A., Juárez-López, R., Bravata-de la Cruz, Y. & Chahín-Perdomo, A. (2019). Seasonal antler cycle in white-tailed deer in Campeche wetlands in Southeastern Mexico. *European Journal of Wildlife Research*, 65(4), 53 (1-10). <https://doi.org/10.1007/s10344-019-1291-5>
- Coon, C. A. C., Mahoney, P. J., Edelblutte, E., McDonald, Z. & Stoner, D. C. (2020). Predictors of puma occupancy indicate prey vulnerability is more important than prey availability in a highly fragmented landscape. *Wildlife Biology*, (1), 1-12. <https://doi.org/10.2981/wlb.00540>
- Da Silveira, R., Ramalho, E. E., Thorbjarnarson, J. B. & Magnusson, W. E. (2010). Depredation by jaguars on caimans and importance of reptiles in the diet of jaguar. *Journal of Herpetology*, 44(3), 418-424. <https://doi.org/10.1670/08-340.1>
- De Luna, R. B., Reyes, A. F., De Lucena, L. R. R. & Pontes, A. R. M. (2017). Terrestrial mammal assemblages in protected and human impacted areas in Northern Brazilian Amazonia. *Nature Conservation*, (22), 147-167. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.22.17370>

De Matos Dias, D., Lima Massara, R., Bueno de Campos, C., & Guimarães Rodrigues, F. G. (2019). Human activities influence the occupancy probability of mammalian carnivores in the Brazilian Caatinga. *Biotropica*, 51(2), 253-265. <https://doi.org/10.1111/btp.12628>

Delgado-V, C. A., Árias-Alzate, A., Botero, S. & Sánchez-Londoño, J. D. (2011). Behaviour of the *Tayra Eira barbara* near Medellín, Colombia: preliminary data from a video-capturing survey. *Small Carnivore Conservation*, 44, 19-21.

Díaz-Pulido, A. & Payán Garrido, E. (2012). *Manual de fototrampeo: una herramienta de investigación para la conservación de la biodiversidad en Colombia*. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Panthera Colombia.

Duquette, J. F., Flores, E. E., Ureña, L., Ortega, J., Cisneros, I., Moreno, R. & Loman, Z. (2020). Habitat Use and Abundance of Island-Endemic White-Tailed Deer in Panama. *Mammal Study*, 45(1), 13-25. <https://doi.org/10.3106/ms2019-0036>

Evans, B. E., Mosby, C. E. & Mortelliti, A. (2019). Assessing arrays of multiple trail cameras to detect North American mammals. *PLoS ONE*, 14(6), e0217543. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217543>

Figuroa-de León, A., Naranjo, E. J., Perales, H., Santos-Moreno, A. & Lorenzo, C. (2016). Availability and characterization of cavities used by pacas (*Cuniculus paca*) in the Lacandon Rainforest, Chiapas, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1062-1068. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.009>

González-Desales, G. A., Tello-Sahagún, L. A., Cadena-Ramírez, C. P., López-Luna, M. A., Buenrostro-Silva, A., García-Grajales, J. & Monroy-Vilchis, O. (2020). Egg predation and vertebrates

associated with wild crocodylian nests in Mexico determined using camera-traps. *Journal of Natural History*, 54(29-30), 1813-1826. <https://doi.org/10.1080/00222933.2020.1829723>

Gopaldaswamy, A. M., Royle, J. A., Hines, J. E., Singh, P., Jathanna, D., Samba-Kumar, N. & Karanth, U. (2012). Program SPACECAP: software for estimating animal density using spatially explicit capture recapture models. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(6), 1067-1072. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00241.x>

Gronwald, M. & Russell, J. C. (2021). Measuring rat relative abundance using camera traps and digital strike counters for Goodnature A24 self-resetting traps. *New Zealand Journal of Ecology*, 45(1), 1-7. <https://doi.org/10.20417/nzj ecol.45.7>

Gundersen H., Andreassen, H. P. & Storaas, T. (2004). Supplemental feeding of migratory moose *Alces alces* forest damage at two spatial scales. *Wild Biology*, 10(1), 213-223. <https://doi.org/10.2981/wlb.2004.027>

Harmsen, B. J., Foster, R. J. & Quigley, H. (2020). Spatially explicit capture recapture density estimates: Robustness, accuracy and precision in a long-term study of jaguars (*Panthera onca*). *PLoS ONE*, 15(6), e0227468. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227468>

Hénaut, Y. & Charruau, P. (2012). Nest attendance and hatchling care in wild American crocodiles (*Crocodylus acutus*) in Quintana Roo, Mexico. *Animal Biology*, 62(1), 29-51.

Hernández-Saint Martín, A. D. & Bender, L. C. (2020). Abundancia y densidad del jaguar. En O. C. Rosas-Rosas, A. Silva-Caballero & A. Durán-Fernández (Eds.). *Manejo y conservación del jaguar en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa*

(pp. 87-97). Colegio de Postgraduados, SEMARNAT, CONANP, PNUD.

Howe, E. J., Buckland, S. T., Després-Einspenner, M. L. & Hjalmar S. K. (2017). Distance sampling with camera traps. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(11), 1558-1565. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12790>

Hurtado, J. & Soto, C. (2017). *Manual para el Monitoreo Participativo de Vertebrados Terrestres a través de Cámaras Trampa en Costa Rica*. Proyecto MAPCOBIO-SINAC-JICA.

Jędrzejewski, W., Puerto, M. F., Goldberg, J. F., Hebblewhite, M., Abarca, M., Gamarra, G., Calderón, L. E., Romero, J. F., Vilorio, Á. L., Carreño, R., Robinson, H. S., Lampo, M., Boede, E. O., Biganzoli, A., Stachowicz, I., Velásquez, G. & Schmidt, K. (2017). Density and population structure of the jaguar (*Panthera onca*) in a protected area of Los Llanos, Venezuela, from 1 year of camera trap monitoring. *Mammal Research*, 62(1), 9-19. <https://doi.org/10.1007/s13364-016-0300-2>

Jost, L. & González, A. (2012). Midiendo la biodiversidad más allá del Índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana*, 56(1-2), 3-14.

Kays, R., Hody, A., Jachowski, D. S. & Parsons, A.W. (2021). Empirical evaluation of the spatial scale and detection process of camera trap surveys. *Movement Ecology*, 9(1), 4(1-13). <https://doi.org/10.1186/s40462-021-00277-3>

Kelly, M. J., Noss, A. J., Di Bitetti, M. S., Maffei, L., Arispe, R. L., Paviolo, A., De Angelo, C. D. & Di Blanco, Y. E. (2008). Estimating puma densities from camera trapping across three study sites: Bolivia, Argentina, and Belize. *Journal of Mammalogy*, 89(2), 408-418. <https://doi.org/10.1644/06-MAMM-A-424R.1>

Keuroghlian, A., Eaton, D. P. & Longland, W. S. (2004). Area use by white-lipped and collared peccaries (*Tayassu pecari* and *Tayassu tajacu*) in a tropical

forest fragment. *Biological Conservation*, 120(3), 411-425. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.03.016>

Kilpatrick, H. J. & Stober, W. A. (2002). Effects of Temporary Bait Sites on Movements of Suburban White-Tailed Deer. *Wildlife Society Bulletin*, 30(3), 760-766.

LaFleur, M. & Pebsworth, P. A. (2017). Camera Traps. En A. Fuentes, (Ed.). *The International Encyclopedia of Primatology*, (pp. 1-3). WILEY Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119179313.wbprim0281>

Larucea, E. S., Brussard, P. F., Jaeger, M. M. & Barrett, R. H. (2007). Cameras, coyotes, and the assumption of equal detectability. *Journal of Wildlife Management*, 71(5), 1682-1689. <https://doi.org/10.2193/2006-407>

Lemma, A. & Tekalign, W. (2020). Abundance, species diversity, and distribution of diurnal mammals in humbo community-based forest area, Southern Ethiopia. *International Journal of Zoology*, 2020, Article ID 5761697, <https://doi.org/10.1155/2020/5761697>

Lewis, T. L. & Rongstad, O. J. (1998). Effects of supplemental feeding on white-tailed deer *Odocoileus virginianus*, migration and survival in Northern Wisconsin. *The Canadian Field-Naturalist*, 112, 75-81.

Macaulay, L., Sollmann, R. & Barrett, R. (2019). Estimating Deer Populations Using Camera Traps and Natural Marks. *The Journal of Wildlife Management*, 84(2), 301-310. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21803>

Maffei, L., Cuéllar, E. & Noss, A. (2004). One thousand jaguars (*Panthera onca*) in Bolivia's Chaco? Camera trapping in the Kaa-lyá National Park. *Journal of Zoology*, 262(3), 295-304. <https://doi.org/10.1017/S0952836903004655>

Mandujano, S. & Morteo-Montiel, O. (2018). Sugerencias para organizar, administrar y exportar

datos de fototrampeo con el programa WILD.ID. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 1(2), 31. <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2018.1.2.263>

Mandujano, S. (2019). Analysis and trends of photo-trapping in Mexico: text mining in R. *Therya*, 10(1), 25-32. <https://doi.org/10.12933/therya-19-666>

Martínez-Hernández, A., Rosas-Rosas, O. C., Clemente-Sánchez, F., Tarango-Arámbula, L. A., Palacio-Núñez, J., Bender, L. C. & Herrera-Haro, J. G. (2015). Density of threatened ocelot *Leopardus pardalis* in the Sierra Abra-Tanchipa Biosphere Reserve, San Luis Potosí, Mexico. *Oryx*, 49(4), 619-625. <https://doi.org/10.1017/S0030605313001452>

Martins, S. D., Sanderson, J. G. & Silva-Júnior, J. D. S. (2007) Monitoring mammals in the Caxiuanã National Forest, Brazil - First results from the Tropical Ecology, Assessment and Monitoring (TEAM) program. *Biodiversity Conservation*, 16(4), 857-870. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9094-x>

Meek, P. D., Ballard, G., Claridge, A., Kays, R., Moseby, K., O'Brien, T., O'Connell, A., Sanderson, J., Swann, E., Tobler, M. & Townsend, S. (2014). Recommended guiding principles for reporting on camera trapping research. *Biodiversity and Conservation*, 23, 2321-2343. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0712-8>

Mena, J. L., Yagui, H., La Rosa, F., Pastor, P., Rivero, J. & Appleton, R. (2020). Topography and disturbance explain mountain tapir (*Tapirus pinchaque*) occupancy at its southernmost global range. *Mammalian Biology*, 100(3), 231-239. <https://doi.org/10.1007/s42991-020-00027-9>

Meredith, M. & Ridout, M. (2014). *Overlap: estimates of coefficient of overlapping for animal activity patterns R package Version 0.2.3*. <https://rdr.io/cran/overlap/>

Mesa-Zavala, E., Álvarez-Cárdenas, S., Galina-Tessaro, P., Troyo-Diéquez, E. & Guerrero-Cárdenas,

I. (2012). Vertebrados terrestres registrados mediante fototrampeo en arroyos estacionales y cañadas con agua superficial en un hábitat semiárido de Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(1), 235-245. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2012.1.1156>

Monroy-Vilchis, O., Urios, V., Zarco-González, M. & Rodríguez-Soto, C. (2009) Cougar and jaguar habitat use and activity patterns in central Mexico. *Animal Biology*, 59(2), 145-157. <https://doi.org/10.1163/157075609X437673>

Moore, H. A., Champney, J. L., Dunlop, J. A., Valentine, L. E. & Nimmo, D. G. (2020). Spot on: using camera traps to individually monitor one of the world's largest lizards. *Wildlife Research*, 47(4), 326-337. <https://doi.org/10.1071/WR19159>

Mori, E., Andreoni, A., Cecere, F., Magi, M. & Lazzeri, L. (2020). Patterns of activity rhythms of invasive coypus *Myocastor coypus* inferred through camera-trapping. *Mammalian Biology*, 100(6), 591-599. <https://doi.org/10.1007/s42991-020-00052-8>

Mysterud, A. & Ostbye, E. (1999). Cover as a habitat element for temperate ungulates: effects on habitat selection and demography. *Wildlife Society Bull*, 27(2), 385-394.

Nelder, J. & Wedderburn, R. (1972). Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society*, 135(3), 370-384. <https://doi.org/10.2307/2344614>

Neu, C. W., Byers, C. R. & Peek, J. M. (1974). A technique for analysis of utilization-availability data. *Journal of Wildlife Management*, 38(3), 541-545.

Núñez-Pérez, R. (2011). Estimating jaguar population density using camera-traps: A comparison with radio-telemetry estimates. *Journal of Zoology*, 285(1), 39-45. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2011.00812.x>

O'Brien, T. G. (2011). Abundance, Density and Relative Abundance: A Conceptual Framework. In A. F. O'Connell, J. D. Nichols & K. U. Karanth. (Eds). *Camera Traps in Animal Ecology. Methods and Analyses* (pp. 71-96). Springer. https://doi.org/10.1007/978-4-431-99495-4_6

Parsons, A. W., Forrester, T., McShea, W. J., Baker-Whatton, M. C., Millspaugh, J. J. & Kays, R. (2017). Do occupancy or detection rates from camera traps reflect deer density? *Journal of Mammalogy*, *98*(6), 1547-1557. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyx128>

Paviolo, A., De Angelo, C. D., Di Blanco, Y. E. & Di Bitetti, M. S. (2008). Jaguar *Panthera onca* population decline in the Upper Paraná Atlantic Forest of Argentina and Brazil. *Oryx*, *42*(4), 554-561. <https://doi.org/10.1017/S0030605308000641>

Rosas-Rosas, O. C. & Bender, L. C. (2012). Estado de la población de jaguares (*Panthera onca*) y pumas (*Puma concolor*) en el noreste de Sonora, México. *Acta Zoológica Mexicana*, *28*(1), 86-101. <https://doi.org/10.21829/azm.2012.281818>

Rossa, M., Lovari, S. & Ferretti, F. S. (2021). Spatiotemporal patterns of wolf, mesocarnivores and prey in a Mediterranean area. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *75*(2), 1-32. <https://doi.org/10.1007/s00265-020-02956-4>

Rovero, F. & Marshall, A. R. (2009). Camera trapping photographic rate as an index of density in forest ungulates. *Journal of Applied Ecology*, *46*(5), 1011-1017. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01705.x>

Scrich, V. M., Pônzio, M. C., Pasqualotto, N., Rodrigues, T. F., Paolino, R. M. & Chiarello, A. G. (2019). Occurrence of tayras (*Eira barbara Linnaeus*, 1758) with anomalous coloration in Cerrado remnants in the state of São Paulo, Brazil. *Biota Neotropica*, *19*(3), e20180680. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0680>

Semper-Pascual, A., Decarre, J., Baumann, M., Camino, M., Di Blanco, Y., Gómez-Valencia, B. & Kuemmerle, T. (2020). Using occupancy models to assess the direct and indirect impacts of agricultural expansion on species' populations. *Biodiversity and Conservation*, *29*(3), 3669-3688. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-02042-1>

Shepherd, J. D. & Ditgen, R. S. (2012). Predation by *Rattus norvegicus* on a native small mammal in an *Araucaria araucana* forest of Neuquén, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, *85*(2), 155-159.

Soria-Díaz, L., Monroy-Vilchis, O. & Zarco-González, Z. (2016). Activity pattern of puma (*Puma concolor*) and its main prey in central Mexico. *Animal Biology*, *66*(1), 13-20. <https://doi.org/10.1163/15707563-00002487>

Srbek-Araujo, A. C., Guimarães, L. J. & Costa-Braga, D. (2020). Activity pattern of the Black-and-White Tegu, *Salvator merianae* (Squamata, Teiidae), in an Atlantic Forest remnant in southeastern Brazil. *Herpetology Notes*, *13*, 93-99.

Stasiukynas, D. C., Mejía, Á., Lizarazo, J., Wagner-Wagner, C. M., Gómez, M. F. & Payán, E. (2021). Las carreteras al mar: estudio sobre el impacto de los vertebrados silvestres y los ecosistemas circundantes en dos corredores viales de Colombia. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, *13*(24), 15-40. <https://doi.org/10.22430/21457778.1637>

Tobler, M. W., Carrillo-Percestequi, S. E. & Powell, G. (2009). Habitat use, activity patterns and use of mineral licks by five species of ungulate in south-eastern Peru. *Journal of Tropical Ecology*, *25*(3), 261-270. <https://doi:10.1017/S0266467409005896>

Tobler, M. W., Carrillo-Percestequi, S. E., Pitman R. L., Mares, R. & Powell, G. (2008). An evaluation of camera traps for inventorying large- and medium-sized terrestrial rainforest mammals.

Animal Conservation, 11(3), 169–178. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2008.00169.x>

Torralvo, K., Botero-Arias, R. & Magnusson, W. E. (2017). Temporal variation in black-caiman-nest predation in varzea of central Brazilian Amazonia. *PLoS ONE*, 12(8), e0183476. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183476>

Webb, S. L., Gee, K. L. & Wang, G. (2010). Survival and fidelity of an enclosed white-tailed deer population using capture-recapture-reporting data. *Population Ecology*, 52(1), 81–88. <https://doi.org/10.1007/s10144-009-0178-9>

White, G. C. & Burnham, K. P. (1999) Program MARK: survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study*, 46(sup1), S120–139. <https://doi.org/10.1080/00063659909477239>

White, G. C., Burnham, K. P., Otis, D. L. & Anderson, D. R. (1978). *User's manual for program Capture*. Utah State University Press.

Young, J. K., Golla, J. M., Broman, D., Blankenship, T. & Heilbrun, R. (2019). Estimating density of an elusive carnivore in urban areas: use of spatially explicit capture-recapture models for city-dwelling bobcats. *Urban Ecosystems*, 22(3), 507–512. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-0834-6>

Monitoreo de aves silvestres: una perspectiva general de las técnicas usadas

Alejandro Meléndez Herrada^{a,b}

Resumen

Conocer la riqueza de especies y su abundancia ha sido un desafío constante, por lo que se han diseñado técnicas útiles con este fin. En cuanto a las aves silvestres, hay diversas técnicas de monitoreo que brindan información cuantitativa, y es importante conocerlas para implementarlas de manera adecuada. El objetivo de este protocolo es ofrecer un panorama general de dichas técnicas de monitoreo de aves, con énfasis en aquellas que son más usuales y, así, dar la pauta para incrementar el conocimiento en estudios específicos. Este documento se ha elaborado a partir de la selección de bibliografía especializada en el monitoreo de aves, que ayuda a ampliar los criterios de investigación y, al mismo tiempo, busca estar al alcance del lector. Por ello, este protocolo facilita información general y específica, y está dirigido tanto a personas que se están iniciando en el monitoreo como a expertos en la materia. En la descripción de las técnicas se indica el tipo de información a considerar, los requerimientos necesarios, el desarrollo de su aplicación y el posible vínculo con otras técnicas. De manera general, hay dos tipos de técnicas: una basada en la observación directa y la otra en la captura. La primera considera los transectos lineales y los círculos de conteo, mientras que en la segunda se da prioridad a las redes de niebla. Adicionalmente, este documento aborda otras opciones: además de describir técnicas para ambientes terrestres, se consideran algunas para humedales, donde el conteo de aves gregarias es fundamental. También se destaca la importancia de integrar a la población local por medio del monitoreo comunitario. Al ser un protocolo general, no se profundiza en cada técnica, pero se aportan las bases y la literatura complementaria para que el lector oriente su investigación. Es de esperar que este protocolo propicie la elaboración de otros trabajos específicos sobre el monitoreo de aves.

Palabras clave: aves, monitoreo, técnicas de muestreo, conteos de aves, entrenamiento

^a Departamento de El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México.

^b Comfauna, Comunidad de Manejo de Fauna Silvestre en la Amazonía y en Latinoamérica, Iquitos, Perú.

Autor de correspondencia: Alejandro Meléndez Herrada. meha1789@correo.xoc.uam.mx; amelendezh97@yahoo.com.mx

Monitoramento de aves silvestres: uma visão geral das técnicas utilizadas

Resumo

Conhecer a riqueza das espécies e sua abundância tem sido um desafio constante, por isso técnicas úteis foram projetadas para este fim. Para obter informações quantitativas com o monitoramento de aves silvestres existem várias técnicas que devem ser conhecidas para implementá-las adequadamente. O objetivo deste protocolo é oferecer um panorama das técnicas de monitoramento de aves, com ênfase nas mais comuns, além de dar a orientação para ampliar o conhecimento em estudos específicos. Este documento foi elaborado a partir da bibliografia especializada no monitoramento das aves, selecionando os mais adequados para ampliar os critérios de pesquisa e, ao mesmo tempo, estar à disposição do leitor. Portanto, este protocolo fornece informações gerais e específicas, e é voltado tanto para pessoas que estão começando no monitoramento quanto para especialistas na área. Ao descrever as técnicas, são indicados o tipo de informação a ser considerada, os requisitos necessários, o desenvolvimento de sua aplicação e o possível vínculo com outras técnicas. Em geral, existem dois tipos de técnicas baseadas em (a) observação direta e (b) captura. A observação considera transectos lineares e círculos de contagem, e o monitoramento baseado em captura prioriza redes de neblina, mas outras opções são abordadas. Além de descrever técnicas para ambientes terrestres, outras são consideradas para áreas úmidas onde a contagem de aves gregárias é crítica. Destaca a importância da integração da população local por meio do monitoramento comunitário. Por ser um protocolo geral, não se aprofunda em cada técnica, mas as bases e a literatura complementar são fornecidas para que o leitor guie suas pesquisas. Espera-se que este protocolo leve ao desenvolvimento de específicos no monitoramento de aves.

Palavras-chave: aves, monitoramento, técnicas de amostragem, contagem de aves, treinamento

Wild bird monitoring: An overview of techniques used

Abstract

Although knowing species richness and abundance has been a constant challenge, useful techniques have been designed to solve this. Several techniques can be learnt and applied to obtain quantitative information with the monitoring of wild birds. The objective of this protocol is to provide an overview of bird monitoring techniques, with emphasis on those that are most common. Also, the aim to provide a guideline for increasing knowledge in specific studies. Based on specialized bibliography on bird monitoring, this document has been prepared selecting those within the reader's reach that are most suitable to broaden the research criteria. Therefore, this protocol provides general and specific information, and is aimed at people who are new to monitoring as well as experts in the field. While describing the techniques, it indicates the type of information to be considered, the necessary requirements, the development of its application and the possible link with other techniques. In general, there are two types of techniques based on: (a) direct observation and (b) trapping. Observation considers line transects and counting circles, and capture-based monitoring gives priority to mist nets, but also focuses on other options. In addition to describing techniques for terrestrial environments, others are considered for wetlands, where counting gregarious birds is fundamental. The importance of integrating the local population through community monitoring is highlighted. Being a general protocol, the document does not go in depth into each technique, but provides the basis and complementary literature are provided for the reader to guide their research. Hopefully, this protocol will lead to the development of other specific protocols for bird monitoring.

Keywords: birds, monitoring, sampling techniques, bird counting, training

Introducción

América Latina y el Caribe es un vasto territorio que alberga gran parte de los ecosistemas del mundo o ambientes similares. Cada uno de los países, territorios dependientes y departamentos de ultramar poseen su propia biodiversidad, y en esta sobresalen específicamente las aves silvestres. Actualmente, se reconoce un total aproximado de 10.912 especies de aves en el mundo, de acuerdo con el International Ornithological Congress (IOC) World Bird List (Gill *et al.*, 2021). Cada país presenta su propia riqueza de especies; por ejemplo, de acuerdo con Avibase (2021)¹, Trinidad y Tobago cuenta con 501 especies; Paraguay con 729; México con 1.155; Perú con 1.911 y Brasil con 1.901.

El ser humano ha utilizado las aves como alimento, medicina, vestimenta, adorno, ceremonias, creencias, banderas y escudos, como insumo para la investigación científica y otros usos más; de igual manera, las aves están inmersas en la cosmovisión de las culturas sobre la naturaleza y la creación (Navarro *et al.*, 2014; Whelan *et al.*, 2016). Por su parte, la investigación científica ha demostrado que las funciones que desempeñan las aves son de gran relevancia, por ser estas integrantes de

las interacciones tróficas y del ciclo de los nutrientes, y en general por sus servicios ecosistémicos y su importancia para el bienestar del ser humano (Sekercioglu *et al.*, 2016; BirdLife International, 2019). No obstante, las poblaciones de muchas especies se están reduciendo y sus hábitats están siendo destruidos por efecto de las actividades humanas, principalmente por las prácticas agrícolas no sustentables, la deforestación, la urbanización, la presencia de especies invasoras y el cambio climático, además de la sobreexplotación directa de las aves (BirdLife, 2018).

Así, dentro de las causas extractivas del decline poblacional se encuentra el mercado de mascotas. A pesar de que en 1973 se acordó regular el comercio de fauna a nivel internacional (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora [CITES], 2019), el tráfico ilegal sigue ocurriendo a gran escala en América Latina y el Caribe (Connelly & Peyronnin, 2021), hecho que provoca la disminución de las poblaciones de aves carismáticas, como los psitácidos (loros, pericos y especies afines) (Weston & Memon, 2009). Lamentablemente, es poca la información publicada sobre el uso de aves como mascotas en la región (Roldán-Clara *et al.*, 2014).

Otro factor que modifica la abundancia de las aves es el consumo de carne de caza

¹ Base de datos en línea de las aves del mundo (<https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp>).

(*bushmeat* o *wild meat* en inglés). Aunque comúnmente se destaca la importancia de los mamíferos y los reptiles en la dieta de las comunidades rurales, las aves silvestres también suelen ser consumidas de manera significativa, principalmente las especies de la familia Cracidae. A diferencia de los mamíferos, las aves no suelen ser las presas más frecuentes debido a su tamaño (Benítez-López *et al.*, 2017), pero son atractivas por su carne exquisita.

Ya sea que las aves habiten en condiciones ambientales prístinas o modificadas por actividades antrópicas, o que sean extraídas de su ambiente natural para ser aprovechadas de alguna forma, los estudios basados en el monitoreo de poblaciones particulares o comunidades de aves pueden aportar información valiosa para la comprensión de su ecología, conservación y aprovechamiento sustentable.

En este protocolo se abordan las bases para el monitoreo de aves silvestres. Es una metodología que funciona independientemente de la preparación específica que se tenga en el monitoreo. Al ser un protocolo integral o general, no abarca exhaustivamente todas las posibilidades de muestreo ni todas las características que los distinguen, pero sí orienta al lector sobre la importancia de llevar a cabo el monitoreo de aves de manera formal en una dinámica espacio-temporal. El lector, a su vez, puede recurrir a otros protocolos o fuentes de información donde se aborden con más detalle las características de la técnica de su interés. De hecho, ningún investigador, fuente de información o curso en ornitología

de campo puede cubrir con detalle todas las técnicas de investigación ni considerar todas las situaciones posibles. No obstante, compartir el conocimiento y la experiencia permite mejorar el trabajo de campo y aminorar el impacto que este pueda tener sobre las aves. En consecuencia, este protocolo destaca la necesidad del entrenamiento para lograr un desempeño deseable en el monitoreo (Fair *et al.*, 2010).

Materiales y métodos

Con la finalidad de conformar un panorama de alternativas para el monitoreo de aves, se recurrió a una variada bibliografía especializada para la estimación del tamaño de poblaciones de aves en su hábitat. También se incluyeron referencias accesibles para quienes no son expertos, pero desean conocer técnicas para integrarse al monitoreo de aves. De hecho, aunque se considera apropiada la participación de colaboradores del ámbito académico, como estudiantes y tesisas, también es deseable la integración de la población local, situación que cada vez es más común en la interpenetración de la ornitología y en la sociedad en general (Tàbara, 2006).

La palabra “técnica” se define como el “conjunto de procedimientos y recursos de que se sirve una ciencia o un arte” (Real Academia Española [RAE], 2020a). También es pertinente diferenciar entre lo que es un inventario, que usualmente se

basa en una prospección única en el registro de especies, y un monitoreo, el cual se fundamenta en la obtención de datos en al menos dos tiempos y, a menudo, en lugares diferentes (Dowding, 2012).

Las técnicas aquí presentadas se basan en la observación directa y en aquellas derivadas de la captura, y consideran esencial el entrenamiento para la consecución de un monitoreo exitoso. Aunque se da mayor énfasis al monitoreo en ambientes terrestres y de aves diurnas, se ha destinado un espacio a los ambientes acuáticos y a las aves nocturnas. Así mismo, se mencionan materiales y equipos que usualmente se utilizan, pero se evita puntualizar en marcas, modelos y precios para que el interesado explore las posibilidades a su alcance.

Monitoreo de aves

En un principio, es pertinente mencionar que, además de las especies a monitorear, las características del ambiente dictan la necesidad de la técnica de monitoreo más apropiada (Bibby *et al.*, 2000). Sin embargo, también se puede despertar en el investigador o colaborador el interés por hacer adecuaciones a los estándares del procedimiento. Las técnicas a seguir no son exactamente las mismas para todos los ambientes terrestres, como una selva o un desierto, ni tampoco para los ambientes acuáticos, como un manglar o un lago. Se debe discernir entre la necesidad de observar las aves o capturarlas, y la información que esto brinda al monitoreo. La elección de la técnica y del tipo de datos a obtener es crucial.

Los objetivos de la investigación deben tener clara la diferenciación de estudios basados en especies individuales, grupos de especies particulares o comunidades de aves; también, hay que establecer si se pretende tener conteos totales o parciales, los cuales son indicadores de los cambios poblacionales.

En todos los casos, es fundamental identificar acertadamente la(s) especie(s) y contar cada individuo para saber cuántos hay. Dependiendo de la finalidad del monitoreo se deben tomar otros datos.

Materiales

Para llevar a cabo el monitoreo de aves es necesario identificar previamente la o las especies focales que se quieren estudiar. A continuación, se abordan los materiales comúnmente usados y posteriormente se explican las técnicas utilizadas tanto en la observación como en la captura.

Guías de campo

Con el propósito de mejorar la capacidad de los principiantes para la observación de aves, y aún para los expertos, es fundamental contar con materiales de apoyo, como las guías de campo. Estas describen las características externas sobresalientes del ave, que también son conocidas como marcas o señas de campo de la topografía corporal de cada especie. Con la práctica, el observador mejora su habilidad de percatarse de los rasgos más distintivos de las especies, inicialmente mediante la identificación de la silueta del ave y su tamaño. En la medida

que aumenta el esfuerzo de observación, mejora la capacidad de diferenciar entre macho y hembra (cuando hay dimorfismo sexual aparente), reconocer el estado de madurez y distinguir entre especies similares. Para identificar con precisión a un individuo también es necesario considerar su distribución geográfica, el hábitat y la época del año en que se encuentra. Las guías suelen incluir orientaciones sobre estos aspectos para cada especie.

Prácticamente, en todos los países de América Latina hay guías disponibles en un formato de libro, así como guías rápidas plegables o trípticos; algunas incluso están disponibles de manera digital o adaptadas a dispositivos móviles (teléfonos celulares y tabletas).

Las opciones de estos materiales para la identificación de aves son muy variadas. Las guías que cuentan con ilustraciones y textos en formato de libro se pueden encontrar referidas a países o regiones; por ejemplo, Narosky & Yzurieta (2006) describen la avifauna de Paraguay en un solo libro; Ridgely & Greenfield (2001a) hacen lo mismo para Ecuador, aunque esta guía se complementa con otro libro (Ridgely & Greenfield, 2001b), que incluye el estatus, distribución y taxonomía. A nivel regional, Restall *et al.* (2006) hacen referencia al norte de Sudamérica, y Howell & Webb (1995) a la región entre México y el norte de Centroamérica. La guía de campo debe tener un mínimo de calidad para que sea útil tanto para el observador experimentado como para la persona en entrenamiento. Familiarizarse con el contenido de las guías desde el inicio ayuda a

un rápido y certero proceso de identificación taxonómica.

Listas de aves

Si el monitoreo consiste en estudiar la diversidad de especies presentes en un sitio, es básico contar con una lista de aves potenciales del lugar donde se va a trabajar. Cuando el monitoreo se restringe a una especie en particular, es importante disponer de la información previa sobre la presencia del ave de interés.

En el caso de que el monitoreo se realice en un sitio donde se tiene poco o nulo conocimiento de las especies de aves que viven ahí, se puede recurrir a investigaciones hechas en lugares próximos y ambientes similares, y también acudir a investigadores regionales que puedan proporcionar información relativa al área de interés. Actualmente, es posible además consultar páginas especializadas en la red (*web*), que tienen información útil y concentran los registros de aves que proporcionan los usuarios (investigadores o gente interesada en aves).

Páginas en la red

Existen recursos electrónicos para facilitar la identificación de especies y su descripción. Algunas opciones muy útiles son las aplicaciones gratuitas (en varios idiomas) para descargar en dispositivos móviles. Estas permiten identificar la especie rápidamente solo con escribir el nombre común en inglés o, de preferencia, el científico. Asimismo, el usuario puede

proporcionar datos sobre la ubicación, la hora, la apariencia y el comportamiento del ave observada, o bien ingresar una fotografía del ave a identificar. Toda esta información es resultado de las contribuciones de los ciudadanos para la ciencia y la socialización del conocimiento.

A continuación, se mencionan algunas aplicaciones de alcance mundial que se interrelacionan y tienen amplia difusión. Se sugiere verificar su disponibilidad en cada país y explorarlas para obtener el mayor provecho de su contenido:

- Merlin (<https://merlin.allaboutbirds.org/>). Es una aplicación gratuita para iOS y Android desarrollada por el Laboratorio de Ornitología de Cornell, EUA. Hasta agosto de 2020 había reunido más de 7500 especies de América, Europa, Asia, África y Oceanía. Ofrece imágenes e información de especies de interés o probables y, paralelamente, genera paquetes por región, que también funcionan como guía de campo, con fotos, sonidos y texto de identificación. En la actualidad se están haciendo grandes avances en la identificación de aves por medio de sus cantos y vocalizaciones en tiempo real (Merlin Bird ID de sonido), ya que los propios usuarios pueden ingresar sus grabaciones.
- eBird (<https://ebird.org/>). Es una plataforma organizada como base de datos para el registro de aves. Con la aplicación eBird Móvil, el usuario puede llevar un control de sus registros y compartirlos para mejorar su uso.

- Avibase (<https://avibase.bsc-eoc.org/about.jsp>). Pone a disposición listas de verificación, información taxonómica de especies, mapas, enlaces y herramientas en las que los observadores se pueden apoyar para mantener sus propios registros.
- iNaturalist (<https://www.inaturalist.org/>). Es una plataforma en la que se reportan observaciones de plantas y animales en general, con información y fotografías que facilitan la identificación y validación de especies. Puede funcionar como una guía de campo para explorar especies de sitios particulares, lo que permite la participación en proyectos locales, regionales o por polígonos de interés.

Es importante tener en cuenta que, aunque podríamos pensar que los pobladores rurales tienen menos acceso a estas fuentes electrónicas, lo cierto es que en todo el mundo se está optando por la telefonía celular; de hecho, hay comunidades rurales que solo se comunican por este medio, dado que es más económico que la telefonía fija.

Formato de campo

Es una herramienta formal en la que se anotan datos cuantitativos y cualitativos tomados en campo y organizados en columnas y renglones a manera de tabla o cuadro. El formato incluye los datos que corresponden al propósito de la investigación, y debe prepararse antes de comenzar el trabajo de campo para que todos los participantes lo

conozcan y comprendan. Es indispensable ponerlo en práctica antes del inicio del estudio, durante un muestreo piloto, para hacer los ajustes necesarios. Usualmente, en la parte superior del formato se ubica la información general del proyecto y del área de estudio, al igual que la fecha y la hora. También se debe dedicar un espacio delimitado para referir el nombre de las especies, los registros individuales y todos aquellos datos de interés, como número de individuos registrados, sexo, edad, actividades, ubicación horizontal y vertical, etc. Es muy útil usar claves para minimizar el tiempo al escribir y, aunque se memoricen, el significado de cada una debe estar mencionado en el formato (por ejemplo, en forma de leyenda en la parte de abajo) para evitar olvidos o confusiones de información y mejorar la comunicación con otros colegas.

Libreta de campo

Para complementar la toma de datos cuantitativos en el monitoreo, la libreta o diario de campo es muy útil, dado que es flexible en su contenido; de hecho, es un instrumento valioso por sí mismo en la colecta de datos cualitativos que pueden ser retomados y analizados en su momento.

Es recomendable que la libreta sea compacta; por ejemplo, que quepa en el bolsillo del pantalón para facilitar su portabilidad. Actualmente son muy comunes las libretas hechas de una mezcla de papel y algodón, lo que evita que la escritura se borre por la fricción entre las hojas y la humedad. Es recomendable además que sea cocida con hilo, lo cual impide que las hojas se

suelten y, por tanto, se pierdan o traspelen. No obstante, cualquier libreta es de utilidad, en caso de que los recursos disponibles no permitan más opciones (Phillippi & Lauderdale, 2018).

Binoculares y telescopios

Para el avistamiento de aves es altamente recomendable el uso de equipos ópticos que mejoren la capacidad de identificar las especies y contar individuos, así como registrar su comportamiento.

Los binoculares son el equipo más utilizado por los observadores de aves, aunque deben tenerse en cuenta ciertas características que garanticen una buena observación. Por ejemplo, en ambientes boscosos o selváticos es recomendable una "potencia" aproximada de 7 x 40 u 8 x 40, mientras que para lugares con poca vegetación son apropiados binoculares de 10 x 50. Aquí, el primer número denota cuántas veces se aumenta la imagen y el segundo los milímetros de campo visual en los objetivos de los binoculares. Es inconveniente usar binoculares poco o demasiado potentes para el hábitat en que se está trabajando, pero hay que ser capaces de adaptarse al material del que se dispone (Figura 1).

Al igual que con los binoculares, hay telescopios de diferentes marcas, modelos, potencias y precios. Es recomendable un telescopio con zoom (de 20 a 60x) lo que permite más opciones de acercamiento visual. Los telescopios son útiles en lugares amplios y abiertos, donde la vegetación no obstaculice la visibilidad y sea posible estabilizar su trípode.



Figura 1. Para la observación de aves durante el monitoreo se requiere de: 1) binoculares útiles para ambientes con vegetación y 2) telescopio para ambientes abiertos o desprovistos de vegetación.

Consideraciones generales

Para que las técnicas de monitoreo expuestas en este documento permitan obtener los resultados esperados, tenemos que considerar algunos aspectos generales, como el dominio de los nombres de las aves y la necesidad de entrenamiento. Además, para comprender la variabilidad anual de la presencia de las aves, el monitoreo debe incluir muestreos en diferentes épocas del año (dependiendo de la zona geográfica) o en las temporadas de lluvia y sequía. Las indicaciones generales, descritas a continuación, tienen como fin proporcionar bases para estandarizar el método y posibilitar que los monitoreos sean comparables entre sí:

- Comprender previamente las características ambientales de la localidad, desde la accesibilidad a los sitios de muestreo hasta la composición y estructura de la vegetación.
- Abarcar al menos dos años consecutivos de monitoreo y, para que la información colectada sea comparable, no debe tener más de siete días de diferencia con respecto a los muestreos de años anteriores ni iniciar con más de media hora de diferencia (Ralph *et al.*, 1993).
- Evitar el trabajo de campo en condiciones que puedan modificar el comportamiento habitual de las aves y originar errores en su avistamiento. Por lo tanto, el registro no debe hacerse bajo condiciones excesivas de calor, frío, lluvia o viento (Bibby *et al.*, 1992).
- Evitar variaciones en el esfuerzo de

trabajo que dificulten hacer comparaciones temporales o espaciales.

Nombres y taxonomía

El primer requisito para registrar un individuo consiste en asignarle el nombre de la especie a la que pertenece. Se recomienda usar el nombre común que se utiliza en la localidad para mejorar la comunicación y aprender de la experiencia de la gente, pero también se debe precisar su nombre científico. A pesar del conocimiento local sobre la avifauna, es probable que muchas aves no tengan un nombre o sean poco conocidas, principalmente aquellas de menor tamaño, similares en apariencia o raras. Cuando las aves carezcan de nombre local, el investigador puede sugerir a la comunidad adoptar la nominación que se acostumbre en la región o país.

La asignación del nombre científico (actualizado) se debe basar en alguna autoridad taxonómica reconocida, por ejemplo, la IOC World Bird List (Gill *et al.*, 2021), donde todas las aves conocidas tienen un nombre científico establecido (el género y la especie), además de un nombre reconocido en inglés para su difusión. La clasificación de las aves para América Latina se puede hacer con base en la AOS (American Ornithological Society), que abarca desde México hasta Panamá y Colombia, e incluye Norte América, con base en el North American Classification and Nomenclature Committee (NACC) (Chesser *et al.*, 2020). Para Sudamérica existe el South American Classification Committee (SACC) (Remsen *et al.*, 2021).

Entrenamiento

Cualquier persona involucrada en el monitoreo de aves debe tener un entrenamiento previo que lo capacite para identificar y registrar correctamente los individuos de las especies de aves. El investigador puede apoyarse en colaboradores, pero es fundamental la estandarización de conocimientos y habilidades entre todos los participantes, sean especialistas, académicos o miembros de la comunidad.

Si un miembro del equipo tiene problemas para identificar más del 10 % de las aves avistadas y escuchadas en ambientes terrestres (como un bosque o una selva), debe mejorar sus habilidades para garantizar su confiabilidad (Bibby, 2004).

Vestimenta

Como parte del entrenamiento, es fundamental destacar la necesidad de adoptar una vestimenta y un comportamiento apropiados, principalmente para que el impacto que el investigador ocasione en campo sea mínimo. Es prioritario pasar sin ser notado por las aves y la fauna silvestre, para no interrumpir sus actividades habituales y poder registrarlas.

Es recomendable una vestimenta discreta, de coloraciones tenues de verde, gris, café o azul, incluso de blanco o negro en determinadas circunstancias. Se sugiere no usar ropa con colores muy llamativos y brillantes, ya que delatan la presencia humana como posible depredador y los animales

tienden a huir u ocultarse y no pueden ser registrados.

Como precaución, se recomienda evitar el uso de ropa verde olivo o de camuflaje en el campo, ya que puede confundirse con vestimenta militar y atraer la atención de personas hostiles, lo cual podría generar una situación problemática. Esta precaución es aún más relevante en aquellos países donde hay desplazamientos de fuerzas armadas por conflictos internos.

Código de comportamiento

En toda investigación existe una ética de trabajo. Los códigos de comportamiento son útiles para garantizar el correcto desempeño del investigador. En el monitoreo de aves, cada persona debe conducirse con respeto hacia ellas, su ambiente, los colaboradores, la gente de la localidad y hacia quienes se dirigen los hallazgos de su trabajo. En cualquier esquema de monitoreo se debe respetar la propiedad y los accesos al área de estudio. Por lo demás, explicar el proyecto a los propietarios y autoridades con un lenguaje accesible, claro y convincente facilita el trabajo y permite contar con su colaboración.

A partir de esto, se pueden derivar pautas específicas que precisen el fomento de actitudes que favorezcan la observación y conservación de aves (ABA, 2019; BirdLife International, 2021; RSPB, s.f.). Estas medidas deben ser reforzadas en momentos sensibles, como durante la época de reproducción o migración, y con aquellas especies raras o en alguna categoría de

riesgo. En cada país se promueve este tipo de códigos, ya sea en las investigaciones formales o en el ámbito de la observación de aves como una actividad recreativa, donde ambas suelen converger. En consecuencia, es pertinente que en cada proyecto se elabore o adopte un código, y que este sea conocido y puesto en práctica por todos los participantes.

Técnicas de monitoreo

Existen diversas técnicas estándares de monitoreo en las cuales el investigador puede apoyarse. En este protocolo se abordan aquellas basadas en conteos por observación directa y por captura. Estas dos técnicas son complementarias. Además, existen otras con fundamentos operativos diferentes que pueden cubrir necesidades específicas (Bub, 1991; Bibby *et al.*, 1992; Ralph *et al.* 1993; Dowding, 2012). En ambos casos se requieren cálculos matemáticos relativamente sencillos para estimar la abundancia de las especies; también existen programas de cómputo útiles que pueden agilizar esos cálculos. Se pueden consultar indicaciones específicas en Pierce *et al.* (2020).

Conteo de aves

El primer paso para la obtención de datos cuantitativos (abundancias) es especificar los siguientes aspectos: si el trabajo se orienta a una especie concreta, a grupos de especies o a una comunidad; si es exclusivo

de aves diurnas o nocturnas; si se lleva a cabo en ambientes terrestres o acuáticos y la extensión del área de estudio (Figura 2). La técnica seleccionada, por lo tanto, debe ser apropiada para esas necesidades y debe ser posible reproducirla. Las modificaciones o adecuaciones a la técnica siempre deben aclararse en el informe (reporte, artículo, tesis, libro o similares) para su mejor comprensión.

Aves diurnas

Se recomienda que el trabajo con aves diurnas inicie al amanecer, cuando ellas se encuentran más activas, es decir, 15 minutos después de la salida del sol (o poco después si la vegetación es densa). Hacia el mediodía su presencia puede ser menos evidente, y por la tarde la actividad vuelve a ser notoria (aunque menor que durante la mañana). Hay que suspender toda actividad de muestreo como máximo media hora antes de la puesta del sol. Se pueden utilizar

muestreos por círculos o transectos para obtener datos cuantitativos.

Aves nocturnas

Para el monitoreo de aves nocturnas las mejores horas para el muestreo son durante el crepúsculo (media hora después de la puesta del sol) y hacia la media noche, aunque la tasa de registro suele disminuir conforme avanza la noche. El muestreo debe finalizar al menos 15 minutos antes del amanecer. Hay que usar una ruta preestablecida y los participantes deben estar bien familiarizados con las vocalizaciones de estas aves, ya que su registro es primordialmente auditivo. Las grabaciones de las vocalizaciones de estas especies deben usarse solamente para confirmar la especie y hay que evitar reproducir el sonido como atrayente durante el monitoreo, ya que esto puede alterar el comportamiento de las aves, provocar su evasión o huida e, incluso, causar respuestas antagónicas (Takats et al., 2001).

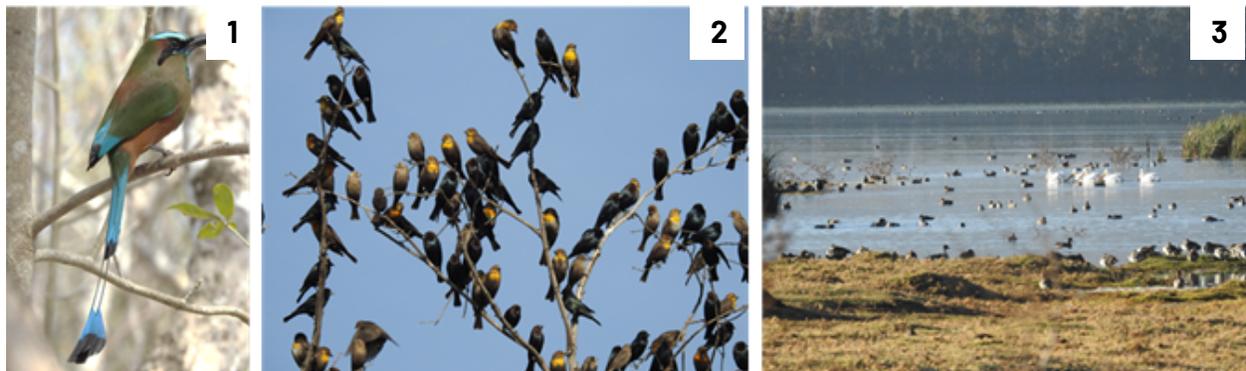


Figura 2. El monitoreo se puede enfocar en: 1) una especie individual, 2) un grupo de especies o 3) a nivel de comunidad de aves. Las condiciones ambientales también dictan la técnica a seguir.

Técnicas de conteo basadas en la observación directa

Entre las técnicas basadas en la observación directa están los transectos lineales y los puntos o círculos. En todo momento se deben ubicar los lugares de trabajo mediante el registro de las coordenadas geográficas y la colocación de marcas distintivas para evitar perderse y consumir tiempo innecesariamente (Figura 3).

En ambas técnicas el observador establece los criterios para decidir cuáles aves incluir durante la observación en campo y para el análisis de la información. La estrategia de trabajo se valida con un muestreo piloto para hacer los ajustes necesarios. A partir de este momento, no se deben hacer más cambios al monitoreo.

Transectos

Consiste en seguir una trayectoria tan recta como sea posible y registrar todas las aves que se vean y escuchen durante su recorrido. Usualmente, se anotan las actividades que realiza cada ave (tales como alimentación, acciones reproductivas o relaciones antagónicas, entre otras). También, se registra la localización espacial horizontal (en qué parte del transecto se hace el registro) y vertical (es decir, en qué parte del transecto es registrado el individuo y en qué estrato de la vegetación se encuentra).

El transecto puede ser uno solo de 10 km de largo o varios de 4 km, y se debe subdividir cada 50 metros para anotar cambios en las características ambientales (Lloyd et al., 1998). Hay que considerar, sin embargo, que los transectos pueden reducirse hasta



Figura 3. Los sitios de monitoreo se ubican mediante: 1) un geoposicionador fácil de transportar, 2) el almacenamiento de la ubicación de los sitios y el recorrido, y 3) la marcación de estos con cintas de color llamativo para facilitar su localización durante el monitoreo.

2 km si la vegetación es abundante y el área a cubrir es relativamente pequeña. Es pertinente fijar una distancia lateral máxima desde donde el observador tenga mayor probabilidad de detectar a las aves (en bosques y selvas suele ser de 20 o 30 metros a cada lado), lo que convierte al transecto lineal en una "banda" con una superficie pre-determinada –por ejemplo, de 2 km de largo por 40 metros de ancho–, aunque también se pueden establecer distancias laterales más cortas para facilitar la ubicación de las aves. En esta técnica, el observador camina a paso lento (≤ 1 km/h), haciendo pausas para confirmar registros, tomar notas u orientarse. En todo momento, está atento al movimiento de las aves para evitar repetir u omitir un dato (Figura 4). Las dimensiones del transecto y el tiempo de recorrido se definen al inicio del proyecto y hay que apegarse a esa decisión durante todo el monitoreo.

Si se decide registrar a las aves que salen volando del transecto debido al avance del observador y también a las que llegan después de haber pasado, se debe anotar el suceso. De esta manera, se puede tomar una decisión sobre su inclusión o exclusión.

Además de los objetivos del monitoreo, el número de unidades de muestreo se define por la heterogeneidad de las características ambientales. Cada unidad debe considerar principalmente la composición y la estructura de la vegetación, la extensión del área a monitorear, el área núcleo, el efecto de borde, las perturbaciones ambientales y la accesibilidad. Con la finalidad de lograr una mayor representatividad y precisión en el registro de especies y sus abundancias, se recomienda establecer al menos un transecto por cada ambiente distinto; además, es importante incluir una réplica en sentido inverso al primer recorrido. De esta forma,

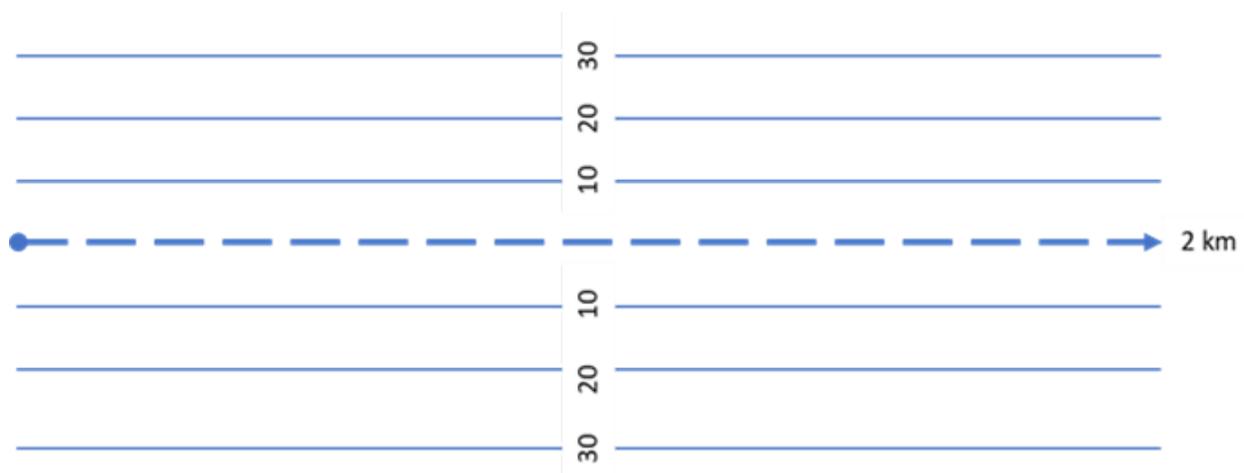


Figura 4. En el transecto lineal se fijan distancias laterales en metros para formar una banda. Se registran todas las aves vistas y escuchadas al caminar a paso lento.

el transecto en banda ofrece una superficie de muestreo bien delimitada, y con el registro de las aves se pueden calcular sus densidades. Este indicador es comparable entre monitoreos que tengan esfuerzos de trabajo similares.

Puntos o círculos

En el conteo por puntos o círculos, el observador registra las aves desde el centro de un círculo imaginario. La longitud del radio se determina a partir de la probabilidad real de registrar a las aves, lo que depende de la composición y estructura de la vegetación. Esta técnica es muy apropiada en sitios con vegetación densa, dosel alto y terrenos agrestes para caminar, como los bosques (Hartley & Greene, 2012), donde el radio de observación puede ser de 20 o 30

metros. Una variante para hacer los registros consiste en dividir el gran círculo en varios círculos concéntricos para facilitar la ubicación de las aves (Figura 5).

Se recomienda reunir datos de 50 círculos en el área a muestrear (Lloyd *et al.*, 1998). En caso de que esto no sea posible, el observador debe estimar un número conveniente; por ejemplo, 20 puntos o menos en áreas relativamente pequeñas. Para evitar la sobreestimación en el conteo, los círculos deben estar separados entre sí por 200 metros (como mínimo 100 metros) y realizar observaciones en cada círculo entre 5 y 10 minutos máximo (Ralph *et al.*, 1993; Hartley & Greene, 2012).

De manera análoga a los transectos, hay que registrar la ubicación espacial horizontal y vertical de cada ave y, usualmente,

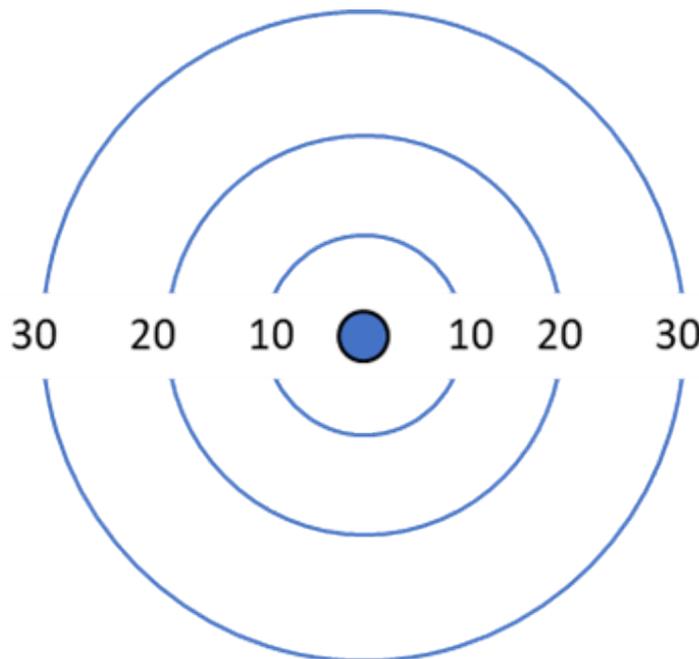


Figura 5. En el conteo de aves por círculos con radio fijo se establecen distancias en metros desde el punto central, donde el observador registra todas las aves vistas y escuchadas en un tiempo determinado.

también se anota la actividad que esta esté desarrollando y que sea de interés para la investigación. Se pueden registrar aves atraídas o ahuyentadas por el observador; en estos casos, se debe anotar el suceso y decidir si se incluye como registro en campo para el análisis de la información.

El número de círculos y el tiempo preciso de conteo se decide durante el diseño del proyecto. Es necesario un muestreo piloto para realizar los ajustes necesarios, los cuales deben mantenerse a lo largo de todo el monitoreo. Se recomienda tener un número constante de círculos por ambiente a muestrear e incluir una réplica en sentido inverso al primer recorrido. La densidad de las poblaciones de las aves se estima a partir de la suma de superficies de cada círculo y se puede comparar con otras investigaciones en las que el esfuerzo de trabajo sea similar.

Muestreo basado en las distancias

Para aumentar la confiabilidad en la determinación de la abundancia, o tamaño de la población, obtenida a partir de los transectos o círculos, se puede adaptar una variación a las técnicas descritas anteriormente, que consiste en anotar la distancia precisa de cada ave registrada, medida desde la ubicación del observador, en los círculos o ave-distancia perpendicular en transectos (Buckland *et al.*, 2010). De esta manera, se calcula el número de aves que no se haya registrado a partir del análisis de la probabilidad de registro (Figura 6). Además de su utilidad en conteos en tierra, este procedimiento ha sido utilizado en el muestreo desde aeronaves y embarcaciones (Greene & Murray, 2012).

Esta adaptación al conteo requiere el uso de un programa especializado como Distance, ampliamente utilizado en



Figura 6. Además de delimitar la distancia de las fronteras de los transectos y los círculos de conteo (1) con flexómetro, se puede precisar la abundancia con la distancia individual de cada ave (2) medida con un distanciómetro láser (*range finder*).

investigaciones que requieren estimar con mayor fineza la densidad o tamaño de poblaciones biológicas (Thomas *et al.*, 2002). Como toda herramienta para investigación formal, Distance también está sujeto a modificaciones y actualizaciones (Thomas *et al.*, 2010), por lo que se recomienda al lector buscar la versión más reciente disponible después de evaluar la necesidad real de la precisión que ofrece el programa y los recursos humanos, económicos, materiales y tecnológicos con que se cuenta.

Búsqueda intensiva

La búsqueda intensiva de aves (*area search* en inglés) consiste en registrar todas las aves que se ven y escuchan en una superficie delimitada en el hábitat de interés. El área debe ser lo suficientemente grande para ubicar tres parcelas independientes, que el observador recorre durante 20 minutos para obtener sus registros. En condiciones de vegetación abundante, como la de un bosque o una selva, es apropiada una extensión de 3 hectáreas por parcela, aunque si el área es pequeña, las parcelas pueden ser de 1 o 2 hectáreas. En ambientes con vegetación menos densa, las parcelas pueden tener 10 hectáreas (Ralph *et al.*, 1993). Aunque no suele ser una técnica muy precisa, es una solución para circunstancias con pocas opciones.

Conteos aéreos

El monitoreo aéreo es apropiado en lugares acuáticos o terrestres donde no hay vegetación o donde esta es tan escasa que se facilita la observación de aves desde el

aire. Generalmente, este método se usa para registrar aves de tamaño mediano o grande como patos, gansos, garzas, cigüeñas, pelícanos, pingüinos y otras más. Para mayor detalle u orientación se puede recurrir a la consulta de manuales como el de Bowman (2014).

Para facilitar las maniobras en el vuelo y la observación de aves en tierra o agua, los conteos aéreos suelen hacerse desde una avioneta tipo Cessna (con el ala en la parte superior de la cabina, Figura 7), a una velocidad máxima de 160 km/h. El piloto debe conocer las necesidades de este tipo de búsquedas y saber maniobrar conforme se le requiera para seguir determinadas rutas en función del tipo de hábitat, la hora del día y la visibilidad. La inclinación de la aeronave permite avistar las aves en una banda con un ancho predefinido, que se puede delimitar con marcas en tierra, por ejemplo, 200 metros a cada lado de la avioneta. Para mantener esa distancia, el observador se puede apoyar en un clinómetro o usar marcas con cinta adhesiva en la ventanilla, previamente adecuadas a la altitud –que puede ser de 30 a 60 metros sobre el suelo o más si el tamaño del grupo de aves es numeroso–. En la actualidad, además del uso de mapas impresos, el geoposicionador (GPS) permite mantener la ubicación y la ruta del transecto, y los conteos con su posición geográfica se registran directamente en una computadora o tableta que tienen un GPS integrado y además los programas necesarios (U.S. Fish and Wildlife Service [USFWS], s.f. a).

Para que los conteos se puedan llevar a cabo, es imprescindible considerar todos

los requerimientos técnicos de la avioneta: la cantidad de combustible, el lugar de despegue y aterrizaje y la ruta de vuelo. La comunicación entre el piloto y el observador es fundamental para el éxito del conteo.

Se recomienda que dos personas hagan los conteos de manera simultánea, ya que cualquiera puede omitir avistamientos mientras hace anotaciones en el formato de registro; al finalizar, se comparan los registros para detectar inconsistencias. Igualmente, se puede usar una grabadora de voz y después transcribir los registros en una base de datos. La fotografía aérea también es de utilidad para contar aves sobre la imagen, pero se deben considerar los requerimientos técnicos necesarios, como el tipo de cámara, su colocación en la aeronave y la habilidad para el manejo del equipo.

Las prospecciones aéreas se apoyan en observaciones en tierra para comparar

resultados, mejorar la precisión de las estimaciones del tamaño de las poblaciones de aves y para complementar el registro de especies que no se observan claramente desde el aire (Figura 7).

De manera similar a otras técnicas, el tipo de ecosistema y las características de las aves determinan el esfuerzo del monitoreo. Por ejemplo, es posible tener un registro completo de las especies en un humedal pequeño que puede ser observado en su totalidad. En cambio, en otro humedal de mayores dimensiones es preferible establecer sitios clave para realizar el monitoreo, o dividir el humedal en franjas y hacer el conteo de aves en cada una de ellas.

Como se requiere en otras técnicas, se deben considerar las diferentes etapas del ciclo de vida de las aves (reproducción, migración), además de la perturbación que se les pueda ocasionar durante la observación. Para minimizar este impacto al



Figura 7. Usualmente, el monitoreo de aves acuáticas gregarias requiere de: 1) prospecciones aéreas con una avioneta de ala alta y 2) mediante observaciones en tierra como un refuerzo para aquellas especies difíciles de observar desde el aire.

hacer los recorridos, Fair *et al.* (2010) recomiendan aproximarse a las aves de manera gradual y sobrevolar lenta y silenciosamente alrededor de zonas sensibles, en lugar de hacerlo de manera directa. En ambos casos se debe estar atentos a cualquier signo de perturbación.

Conteos en humedales

Para el conteo de aves desde la orilla de cuerpos de agua puede ser apropiado dividir el humedal en parcelas o subáreas virtuales, por ejemplo, cada 100 metros (Figura 8) y contar las aves acuáticas desde la orilla (*round counts*) (Kauppinen *et al.*, 1991). Las aves se mueven al nadar o volar, por lo que el observador debe estar atento a esos desplazamientos para evitar la

sobreestimación o subestimación en el conteo. Si se trabaja en un conjunto de humedales (archipiélago), se deben priorizar los más extensos y con mayor abundancia de aves (Hildén *et al.*, 1991).

Cuando las aves se aglomeran en bandadas solo es posible estimar el número de individuos y es fundamental entrenarse para hacerlo. Esto se puede lograr con ensayos previos que se hacen mediante el uso de fotografías y con la práctica posterior en campo (USFWS, s.f. b). También existen programas “semirealistas” que permiten este tipo de entrenamiento (Hodges, 2014).

Se recomienda considerar el tamaño, la complejidad del hábitat y la accesibilidad del humedal para que el monitoreo permita registrar el mayor número de aves. Así, la



Figura 8. Para estimar la abundancia de aves acuáticas en un humedal, es pertinente dividir el cuerpo de agua en subáreas o parcelas virtuales y mantener la atención en los movimientos de las aves.

abundancia poblacional puede reportarse como el total de aves registradas para ese lugar o al menos para los sitios clave.

Para determinados grupos o especies (por ejemplo, las aves rapaces y las marinas), es recomendable utilizar técnicas particulares, con sus propias características de operación. Algunos tipos de monitoreo requieren del mapeo de los territorios en la época de anidación o de la telemetría.

Monitoreo con equipos

Drones

Un dron (*drone* en inglés) es un aparato volador no tripulado (RAE, 2020b) y posee diferentes características que deben considerarse: el ala fija (como un avión) o de uno o varios rotores con sus hélices (como un helicóptero), el grado de autonomía, el tamaño y el peso, la fuente de alimentación y la comunicación inalámbrica con el usuario. En el mercado los hay de diferentes modelos y precios, por lo tanto, cada uno tiene sus propias ventajas y limitaciones. La demanda creciente de drones ha propiciado su disponibilidad a precios cada vez más accesibles, pero se debe evaluar su conveniencia específica para el monitoreo de aves antes de adquirir algún modelo en particular (Vergouw *et al.*, 2016).

Independientemente de la popularidad que en la actualidad tienen los drones como entretenimiento, su utilidad en la investigación de aves silvestres aún es incipiente y está en proceso de debate entre especialistas en el uso de estas herramientas y ornitólogos de campo; sin embargo, estos

ya se utilizan en varias partes del mundo. Wilson *et al.* (2017) han experimentado con grabadoras acústicas para registrar aves canoras, y las colocan 8 metros por debajo del dron para evitar el ruido del aparato; aun así, es difícil registrar las especies cuyos cantos son débiles o cuando se superponen los de varias especies. McEvoy *et al.* (2016) experimentaron con video cámaras integradas en los drones, en rutas de vuelo a una altitud de 40 metros (los de ala rotatoria) y 60 metros (los de ala fija) para identificar especies y contar individuos y minimizar así el efecto de las perturbaciones. No obstante, estos autores alertan sobre la necesidad de elegir el modelo de dron más adecuado y realizar una planificación apropiada para el despegue, aterrizaje y las rutas de vuelo. También mencionan que los conteos de aves acuáticas con drones son menos complicados que los de vuelos tripulados.

Los drones tienen limitaciones similares a las aeronaves tripuladas para el conteo de aves. Especies de tamaño apreciable son más fáciles de identificar, ubicar y registrar que las aves de menor tamaño o con plumaje críptico (como las playeras). Cuando se encuentran agregadas, se puede estimar el número total de individuos.

El usuario del dron debe tener un entrenamiento previo en el control del vuelo para reducir al mínimo los riesgos de colisión o pérdida del aparato. Finalmente, por razones de ética y seguridad para los usuarios del dron, para la población local y para las aves de interés, en el monitoreo con estos aparatos se debe cumplir con la

normatividad que regula su uso en ambientes urbanos y rurales.

Registro en imagen y audio

Si bien el monitoreo de aves se basa principalmente en la observación directa, con frecuencia los registros fotográficos y de audio son un complemento o, incluso, las herramientas principales para el seguimiento de ciertas especies de aves o para el monitoreo en ciertas características particulares del ambiente. El investigador debe evaluar la disponibilidad de sus recursos económicos, los requerimientos técnicos y el entrenamiento previo para el manejo óptimo de estas herramientas.

El uso de cámaras es de gran utilidad tanto para el monitoreo que realiza un investigador como para quien observa aves como pasatiempo (donde ambos intereses convergen). Jobes (2021) ofrece múltiples opciones sobre la elección del equipo fotográfico, de acuerdo con la experiencia del observador, y orienta sobre el costo de varios equipos.

Las cámaras de fotografía y de video son el medio para registrar a las aves en imágenes que pueden ser almacenadas para la posterior confirmación de la especie, el conteo fijo de individuos, el análisis de comportamientos singulares o la documentación del trabajo de monitoreo. Es recomendable utilizar cámaras profesionales con el fin de mantener control sobre la calidad de imagen.

Siempre se debe actuar con respeto hacia las aves y su hábitat, sobre todo durante la época de reproducción y en las áreas

restringidas. La base para evitar impactos negativos en las actividades fotográficas es obrar con ética y responsabilidad (Groo et al., s.f.).

Cámaras trampa

Son dispositivos compactos de fotografía y video que se colocan en un árbol u otro elemento fijo disponible en el ambiente. Usualmente se utilizan para el registro de mamíferos medianos y grandes (Chávez et al., 2013), pero no tanto en el caso de las aves; esto se debe probablemente a que las aves pequeñas son muy numerosas, se desplazan rápidamente y se ubican entre el follaje de la vegetación circundante. A pesar de lo anterior, estas cámaras podrían ser útiles en lugares de anidación, de paso obligado y en sitios de alimentación (Parker et al., 2020) (Figura 9). Lo mismo aplica para especies de tamaño apreciable que prefieren caminar o correr en el sotobosque en lugar de volar, como las de los órdenes Tinamiformes y Galliformes, que habitan en bosques y selvas.

La determinación del número de cámaras necesarias para el correcto monitoreo depende de la especie, de los objetivos del monitoreo, del hábitat y del presupuesto disponible; una investigación puede requerir una docena de cámaras y otra necesitar más de 100 (Chávez et al., 2013).

Grabadoras acústicas

Recientemente se empezaron a ofrecer en el mercado dispositivos compactos, similares a las cámaras trampa, que registran el sonido de animales en el medio



Figura 9. Las cámaras trampa y grabadoras acústicas (*acoustic recording unit*) son útiles como dispositivos pasivos en el registro de aves: 1) cámara fijada en un árbol y 2) interior de la cámara para descargar las imágenes.

silvestre; en el caso concreto de las aves, estos son de utilidad para el registro de sus cantos y vocalizaciones. Estos dispositivos son conocidos en inglés como *acoustic recording unit* y otros nombres que los caracterizan como pasivos o autónomos. Las grabaciones obtenidas permiten identificar directamente las especies o compararlas con grabaciones ya existentes, por lo que es imprescindible el entrenamiento en la identificación acústica de las aves.

Esta técnica se puede combinar con los puntos de conteo y, así, gracias a su efectividad en el sotobosque, maximizar el monitoreo basado en la riqueza de especies; no obstante, desde ahí se dificulta registrar los sonidos del dosel, particularmente los de las aves Passeriformes (Stevens et al., 2019).

Micrófono y parábola

Sin pretender entrar en detalles técnicos, básicamente el registro de sonidos requiere de un micrófono y una grabadora, aunque puede ser más eficiente el registro acústico con un micrófono direccional o con una parábola (reflector parabólico), pues de esta forma se dirige hacia el sonido que se quiera registrar. Esto minimiza sonidos no deseados del alrededor; así, es útil, por ejemplo, para grabar el canto de un ave en lo alto de un árbol. De esta manera, a diferencia de los dispositivos fijos, esta modalidad es más activa y el investigador la dirige en todo momento (Figura 10).

Otros dos apoyos auditivos a los que se puede recurrir para el registro de aves son, por un lado, comparar los sonidos escuchados con las grabaciones ya existentes o, por otro lado, reproducir dichos sonidos con el fin de facilitar la observación de un



Figura 10. Aparatos para grabación de sonidos de aves: 1) parábola, 2) grabadora digital y 3) audífonos. El registro sonoro puede ser una parte importante en el monitoreo de aves.

ave en particular, la cual puede reaccionar ante “la presencia”, por ejemplo, de un posible competidor.

Para comparar el sonido escuchado o grabado, se puede recurrir a grabaciones ya existentes del ave de interés. Por ejemplo, la plataforma Xeno-canto (<https://www.xeno-canto.org/>) es muy útil para identificar la especie a partir del canto. Este es un proyecto colaborativo a nivel mundial que incluye una amplia colección de grabaciones y permite compartir los sonidos de diferentes aves que los investigadores registran. De manera similar, la aplicación Merlin, mencionada anteriormente, también tiene disponibles sonidos de aves.

Cuando los investigadores se enfrentan a situaciones en las que algunas aves se ocultan o son difíciles de observar, pueden recurrir al uso de grabaciones de sonidos (a manera de reclamos) para atraerlas y observarlas mejor. No obstante, el uso de los

sonidos para que las aves sean más visibles se debe hacer con precaución y solo cuando sea necesario; se debe limitar a una o muy pocas repeticiones y disminuir el volumen para no afectar las actividades normales ni poner en riesgo a las aves de interés ni a otras en las cercanías –particularmente aquellas que son sensibles a las perturbaciones– (Howell, 1999; Sibley, 2011).

Captura

Antes de implementar un esquema de monitoreo basado en la captura, el investigador debe tener clara la finalidad de su estudio, el tipo de hábitat y saber si pretende focalizarse en una especie determinada o en un grupo de especies. En situaciones concretas, la captura es la única manera posible de obtener datos de la abundancia de alguna especie en particular, especialmente cuando es rara y difícil de contabilizar mediante las técnicas antes

descritas. En estos casos, las capturas son un complemento al monitoreo de aves por observación directa.

Es común que la captura se asocie al marcado de las aves para obtener datos de abundancias y demografía, por ejemplo, por medio de la captura-recaptura, que requiere de muestreos repetidos durante el tiempo de monitoreo para permitir comparaciones (Bub, 1991; Basile *et al.*, 2016). En general, por medio de la captura se puede determinar la abundancia mediante cálculos matemáticos y el uso de *software* para estimar tamaños poblacionales (Pierce *et al.*, 2020).

Para lograr una captura eficiente, es necesario realizar entrenamientos previos que incluyan el manejo adecuado de equipos y materiales y la manipulación apropiada del ave. Además, es primordial trabajar con ética y sentido común, así como cumplir con las normas y reglamentos que cada país tiene para la captura y colecta científica.

Debido a la gran variedad de alternativas para capturar aves, en este protocolo solo se aborda la captura a mano libre, las trampas caja y las redes. Se sugiere al lector que explore estas y otras técnicas para mayor detalle de operación, en referencias de especialistas como Bub (1991), Gosler (2004) y Silvy *et al.* (2020a).

A mano libre

En un inicio, pensar en atrapar aves a mano libre parece improbable, pero, para algunas aves y en determinadas situaciones, puede ser una alternativa prometedora. Esta técnica se usa para capturar los polluelos del

nido, principalmente antes de que lo abandonen (aves nidícolas), o cuando aún no puedan volar (aves nidífugas), o en la noche cuando las aves diurnas están dormidas. En todos los casos, el captor debe ser cauteloso y evitar que las aves se lastimen.

En algunos casos, el captor se mantiene oculto mientras se aproxima sigilosamente a las aves, por ejemplo, al atrapar patos con el cuerpo sumergido en el agua y la cabeza cubierta con vegetación del humedal. Cuando se trata de aves rapaces, se puede dejar un ave o un mamífero a manera de cebo vivo, y el captor se esconde para poder sujetar a la rapaz en cuanto se aproxime. En esta situación, es vital protegerse de las garras y el pico. Esta misma estrategia se usa con aves carroñeras, para las que se utiliza el cadáver de algún animal como cebo. En el caso de aves que buscan desperdicios en los basureros, el captor puede atraparlas al “camuflarse” o disfrazarse entre la basura.

Tipo caja

Las trampas tipo caja, como su nombre lo indica, tienen una forma básica cuadrangular y varían en materiales, en tamaño y en el mecanismo para atrapar a las aves. Aunque existen en el mercado opciones de varios tamaños y mecanismos, en las comunidades rurales se suelen elaborar con materiales de la localidad, como varas, ramas y maderos diestramente atados, e incluso se utilizan cajas de cartón. Es común el uso de diferentes cebos acordes con la especie de interés.

La trampa más sencilla consiste en una caja y un palo que la levanta y la mantiene

en equilibrio en un extremo, desde donde es accionada con una cuerda a cierta distancia o por medio de un mecanismo simple de equilibrio sensible (Figura 11-1). Otras trampas tipo caja tienen una o dos entradas en las que se acciona un mecanismo que cierra la portezuela cuando el ave entra y pisa una plataforma situada dentro de la caja. Un ejemplo de estas trampas son las conocidas en el mercado como Tomahawk (Figura 11-2).

Redes de niebla

Las redes han sido instrumentos de captura desde tiempos remotos. Su utilidad se basa en que el animal, al estar enredado en la red, no puede escapar y el captor dispone de él. En la actualidad, hay redes hechas de materiales sintéticos, ligeros y resistentes a la intemperie, como las redes de niebla, neblina o velo (*mist nets*),

usadas comúnmente para aves canoras (Passeriformes) y similares en tamaño. Estas redes son de dimensiones variables, aunque las más utilizadas son de aproximadamente 12 metros de largo por 2,10 de ancho (alto), con una luz de malla de 30 a 36 mm. La red está dividida en cuatro niveles en los que se forman bolsillos donde el ave se enreda. Posteriormente el captor la desenreda del lado por donde el ave entró a la red, para llevarla a un lugar de procesado donde se toman los datos morfométricos u otros que el investigador requiera (Figura 12). Los datos que se obtienen son principalmente demográficos y para estimar la densidad poblacional (Efford & Dawson, 2012).

Las redes se colocan en el lugar de captura después de despejar de vegetación (hierbas y ramas) un espacio de medio metro a



Figura 11. Trampas tipo caja: 1) de madera con un palito en equilibrio, 2) de metal (*tomahawk live trap*) con plataforma. Se deja un cebo y el mecanismo sensible de cierre activa la trampa.



Figura 12. La red de niebla se utiliza usualmente para la captura de aves canoras (Passeriformes) y de tamaño similar: 1) red de niebla empaquetada y red mostrando los cordones que se sujetan al poste, 2) montaje de la red y 3) momento en que se extraen aves capturadas en la red.

ambos lados del largo de la red. Así se evita que esta se atore y desgarre, y se disminuya su efectividad. Las redes colocadas a nivel del suelo atrapan aves de esa altura preferentemente, por lo que, si se desea atrapar aves de niveles de vegetación más altos, deben instalarse con un complicado sistema de poleas o de persianas.

La red se monta o se abre colocando los cordones de sus extremos en postes, de un lado hacia el otro, cuidando que no caiga al suelo y se llene de hojas y ramas. Después, se fija la tensión de la red abriéndola hacia arriba y hacia abajo y estirándola desde los postes, los cuales se atan con cuerdas a una estaca o árbol cercano. Usualmente, la capacidad de improvisación y el sentido común son muy útiles.

Debido a que el montaje de las redes puede llevar un tiempo considerable, dependiendo de su número y la complejidad del ambiente, es pertinente prever las horas necesarias para ello. Como referencia, una red puede requerir hasta media hora.

Dado a que las redes pueden estar activas varios días, se deben cerrar antes del anochecer para evitar atrapar aves nocturnas o murciélagos sin la vigilancia de alguien responsable de atenderlas. Se hace lo contrario cuando se desea atrapar aves nocturnas y no aves diurnas.

El trabajo con redes de niebla es muy seguro para las aves, aunque algunos estudios han documentado que las lesiones que estas sufren oscilan entre el 0,06 % y el 2,37 % y su muerte entre el 0,07 % y 1,15 % (Fair *et al.*, 2010). Es pertinente mencionar que contar con un colaborador bien entrenado en la captura y manipulación de aves, o un principiante bien supervisado, puede minimizar el daño o deceso de las aves.

El número de redes a utilizar depende de su operatividad y de los requisitos para la seguridad de las aves. En el Monitoreo de Supervivencia Invernal (MoSI) dirigido a aves migratorias neotropicales se sugiere usar 16 redes o 1,33 redes/ha, aunque estos números pueden variar de acuerdo con la

estrategia de muestreo, la abundancia en la captura y el personal disponible (de Sante *et al.*, 2021). En un estudio de caso mencionado por Efford & Dawson (2012), en bosques de Nueva Zelanda, se utilizaron 32 redes ubicadas (distribuidas heterogéneamente en el espacio) en tres ambientes diferentes.

El esfuerzo de captura se suele reportar en horas/red, es decir, cuántas redes estuvieron activas y por cuánto tiempo. Es recomendable que las redes operen durante periodos cortos de tiempo, por ejemplo, tres días en cada lugar seleccionado, aunque también se sugiere que no sean días consecutivos. Es fundamental mantener constantes estas decisiones a lo largo del monitoreo (Efford & Dawson, 2012).

Marcaje

En el monitoreo de aves se puede recurrir al marcaje o marcado, el cual consiste en colocar un distintivo a cada individuo, que lo diferenciará de los demás de su misma especie; también se pueden marcar grupos de aves sin especificación de individuos. Antes de recurrir al marcaje, primero hay que considerar la necesidad de esta actividad para los objetivos de la investigación o el monitoreo.

Cada individuo se puede diferenciar por sus características externas. En ocasiones, puede ser de utilidad la falta de una pluma en el ala o la cola (o muda incipiente), variaciones de coloración, o alguna otra característica que cumpla la función de una marca (Sutherland, 2000; Silvy *et al.*, 2020b).

Idealmente, la marca no debe interferir en la vida del individuo (desplazamiento, alimentación, relaciones sociales o reproducción), y no debe aumentar su vulnerabilidad ante depredadores, ni ante otros efectos adversos en el ambiente (Fair *et al.*, 2010; Silvy *et al.* 2020b).

La verdadera utilidad del marcado consiste en recapturar al ave. Esto significa que cuando se captura por primera vez se le coloca una marca y posteriormente se libera. Se espera que el mismo individuo sea recapturado, ya sea en el mismo sitio u otro diferente, evento en el cual se registra nuevamente la marca que se le colocó con anterioridad. En determinadas circunstancias, algunas marcas pueden ser observadas sin necesidad de recapturar al ave. Con la captura se obtienen principalmente datos de preferencias de hábitat, distribución, migración, fidelidad de sitio y longevidad, entre otros.

Para estimar la abundancia se suele recurrir a herramientas o modelos de captura-marcaje-recaptura como el de Cormarck-Jolly-Seaber (Johnson & Dinsmore, 2020), y el tamaño de muestra debe ser establecido desde un inicio con criterios claros y consistentes. El marcaje está asociado a la captura y manipulación del ave, ya que es necesario sujetar al animal para colocar la marca seleccionada. De acuerdo con su duración o persistencia en el individuo, el investigador puede optar entre marcas temporales o permanentes (Silvy *et al.*, 2020b).

Marcas temporales

Se caracterizan por durar un tiempo limitado en el individuo. Algunas marcas utilizadas son tintes, polvos, decoloraciones y corte de una pluma de la cola. En las uñas (garras) o el pico se puede aplicar un poco de barniz o esmalte. El corte de una pluma de la cola (nunca del ala) debe hacerse perpendicular al raquis (parte rígida central de la pluma) a la mitad de la pluma, entre su base y la punta. La incisión debe ser lo más clara posible para que se distinga que fue hecho con tijeras y no por algún daño que el ave pudo haber tenido durante sus actividades. En esta modalidad, se puede seguir una secuencia de solo una pluma cortada en cada individuo capturado, comenzando desde las plumas exteriores hacia las interiores. En su momento, tiempo después de las actividades de captura, el ave mudará la pluma cortada por otra completa. Este tipo

de marcas únicamente son útiles en cada muestreo, pero se pueden comparar los datos de captura o captura-recaptura de varios muestreos durante el monitoreo.

Marcas permanentes

Son aquellas que perduran en el individuo toda su vida. Son útiles cuando se pretende monitorear aves durante tiempos prolongados. Algunas de estas marcas son anillos, collares, grapas, banderillas y microchips. El uso de anillos (bandas) es una modalidad de marcado ampliamente difundida en todo el mundo; los hay de material plástico y de metal, como aluminio, acero inoxidable y titanio (Figura 13).

Los anillos de plástico están fabricados en diferentes colores, lo que puede servir como una clave con significado para el investigador, y se puede colocar más de un



Figura 13. Materiales usados en el procesamiento de aves canoras capturadas: 1) caja con materiales e instrumentos para el marcado de aves y el registro de sus datos morfométricos, 2) anillos de material plástico de colores variados y 3) anillos metálicos.

anillo en un tarso del ave. Se debe considerar la durabilidad del color en estudios a largo plazo. Los anillos de metal suelen tener un número de identificación troquelado, para diferenciar cada individuo, y la dirección o código postal para poderlo reportar en caso de que alguien más capture al ave. Estos anillos deben ser resistentes a la corrosión y se pueden combinar ambos tipos de anillos con la finalidad de obtener información adicional.

Existen otras opciones de marcado, por lo que se sugiere al lector explorar cuál podría ser de utilidad en su monitoreo.

Monitoreo comunitario

El monitoreo de aves silvestres requiere de personal de apoyo que conozca el área de trabajo, el tipo de ecosistema y las aves que ahí habitan. La población local suele ser idónea para colaborar en las actividades, ya sean de observación, captura o ambas.

En un inicio, se debe plantear a la comunidad un panorama general del proyecto con un lenguaje accesible y práctico que facilite su comprensión y genere la convicción de querer participar. Es útil que los intereses de la comunidad sean compatibles con los objetivos del monitoreo y es importante señalar el beneficio social que deriva de esos conocimientos y habilidades que no pueden adquirir de otra manera y que complementan su saber cotidiano. Eventualmente, este aprendizaje se dirige al aprovechamiento y conservación de las aves y su hábitat (Şekercioğlu, 2012; Sánchez-González & Ortega-Álvarez, 2015).

En condiciones ideales, la finalidad de las actividades del monitoreo debe ser el principal motor que impulse la colaboración de la población local. Para ello es fundamental realizar talleres de sensibilización con énfasis en el beneficio que el monitoreo trae a la comunidad. Aunque en ocasiones se opta por recurrir al ofrecimiento económico, el pago a los pobladores locales debe manejarse con cautela, ya que suele tomarse como el único incentivo que promueve la participación en el proceso, y esto puede generar conflictos posteriores. Además, los proyectos suelen tener presupuestos muy limitados. Es indudable que la sensibilización hacia el beneficio que recibe la comunidad debe ser el incentivo primordial para generar su colaboración.

Una vez que el investigador cuenta con la aceptación y el entendimiento por parte de los pobladores locales sobre el trabajo a realizar, se seleccionan aquellas personas con interés y potencial para integrarse al monitoreo (Figura 14).

Para que el monitoreo comunitario sea útil, los participantes deben comprender la estrategia y la rutina metodológica, y conocer todos los aspectos involucrados en el proceso (formatos de campo, materiales, equipos y el mecanismo para reportar información). Una pieza clave para el éxito de este es la supervisión constante de sus labores (Sheil & Lawrence, 2004). Una vez que hayan sido entrenados, además de efectuar observaciones directas, los colaboradores comunitarios pueden apoyar la captura y el anillado (Pitkin, 2006).



Figura 14. Los integrantes de la comunidad pueden participar en el monitoreo de aves: 1) reunión para explicar el proyecto de manera clara a la comunidad, 2) entrenamiento en la observación y registro de aves, 3) gente de la comunidad en un conteo de aves y 4) un colaborador de la comunidad llevando las aves capturadas en bolsas para ser procesadas y marcadas.

No se debe pasar por alto la capacidad del colaborador para resolver problemas que eventualmente surjan en su trabajo de monitoreo. La población local tiene un conocimiento muy amplio de las aves y sus hábitats, y está familiarizada con los recursos disponibles de la zona. Por lo

tanto, su aporte es fundamental para resolver dichos contratiempos.

Los registros de aves basados en el monitoreo comunitario también se pueden socializar como aportes de la ciencia ciudadana a través de plataformas globales como eBird o similares (Şekercioğlu, 2012; Neate-Clegga *et al.*, 2020).

Ventajas y oportunidades

El protocolo presentado ofrece un panorama de diferentes técnicas accesibles para monitoreo de aves, y cada una de ellas permite obtener información específica. A continuación, se exponen algunas ventajas y oportunidades de estas técnicas:

- Su aplicación es relativamente fácil, aunque estas técnicas requieren conocimiento y preparación previos.
- Permiten estudiar especies individuales, grupos de aves y diversidad de especies, además de brindar información ornitológica en hábitats variados.
- Para afinar su operatividad y confiabilidad, se puede ahondar más en las características de cada técnica y, en caso necesario, adaptarlas a diferentes objetivos específicos de investigación.
- Arrojan datos comparables en un seguimiento temporal, lo que permite detectar fluctuaciones de riqueza y abundancia de especies.
- El entrenamiento apropiado es fundamental para el éxito del monitoreo de aves.
- Conocer los equipos y materiales para el monitoreo de aves posibilita un mejor desempeño en campo.
- La participación de estudiantes en formación y de la población local es plausible con el uso de estas técnicas.

- Trabajar con pobladores locales enaltece la valoración de las aves y su hábitat, facilita la solución de problemas socioambientales, promueve beneficios locales y refuerza el empoderamiento comunitario.

Desventajas o retos

Las técnicas utilizadas en el monitoreo de aves tienen aspectos clave que hay que considerar apropiadamente; la correcta gestión de los recursos humanos, materiales, logísticos y económicos aumentan la calidad de los resultados que se obtengan.

- La información referida en este documento sobre cada técnica puede ser insuficiente para tomar decisiones en su aplicación; por lo tanto, es necesario profundizar en los requerimientos metodológicos y prever complicaciones de operación.
- Los costos de implementación de algunas de estas técnicas pueden ser elevados, sobre todo si se quiere efectuar un monitoreo a largo plazo.
- Se deben explorar con cautela las adecuaciones que requieren las técnicas en ambientes particulares.
- No es sencillo lograr el mismo nivel y calidad de desempeño por parte de todos los colaboradores.
- Una mala descripción del proyecto ante la población local y el desconocimiento

de sus problemas cotidianos puede originar conflictos y comprometer la colaboración de la comunidad.

- No conocer la normatividad ambiental puede generar inconvenientes en el trabajo de campo.
- Debido a la gran variación en las características ambientales y restricciones de algunas técnicas, los datos generados se pueden interpretar como representativos solo de la localidad particular del estudio.
- Profundizar en las propiedades de las técnicas presentadas requiere el acceso a diversas fuentes de información, la interacción con colegas experimentados y una práctica previa a su implementación.

Conclusiones

El monitoreo de aves silvestres permite describir los cambios en la riqueza y abundancia de especies, información que también es primordial para la conservación de las aves y los ecosistemas. Existe una gran variedad de técnicas para monitorear las poblaciones, pero es importante elegir la más apropiada de acuerdo con los objetivos y las condiciones del estudio. Para eso, se debe considerar si el trabajo está enfocado en una especie, en grupos de especies o a nivel de comunidad, al igual que las características ambientales del lugar. El entrenamiento y la selección de materiales y equipos adecuados son aspectos cruciales

para identificar las especies, contar los individuos y calcular sus abundancias. Las técnicas de monitoreo se pueden dividir en las basadas en la observación y las basadas en la captura; cada una tiene sus especificidades y requerimientos de operación. Entre las técnicas de conteo por observación directa más usuales se encuentran los transectos y los círculos de conteo; en estas, la inclusión de la distancia precisa de cada individuo registrado respecto al observador o el trayecto mejora la precisión de la estimación del tamaño poblacional. Entre las técnicas basadas en la captura se destacan las de tipo caja y las de red. Las redes de niebla posibilitan la captura de una amplia variedad de aves Passeriformes y otras de tamaño similar. Los datos demográficos obtenidos por medio de capturas se optimizan con el uso de marcas temporales o permanentes, y la abundancia de las especies se determina a través de cálculos matemáticos sencillos; no obstante, el uso de *softwares* puede ser de ayuda. El monitoreo de aves silvestres genera información confiable que mejora el manejo de las aves y su hábitat.

Agradecimientos

El autor agradece las facilidades que ofreció la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, de la Ciudad de México para la elaboración de este protocolo. De igual manera, a la Comunidad de Manejo de Fauna Silvestre en América Latina (Comfauna), a Pedro Mayor y Pedro E. Pérez por sus valiosos aportes en la ruta para mejorar el manuscrito, a Falco M. García González por su colaboración en la toma de algunas fotografías y a Nuri Trigo Boix por sus sugerencias al manuscrito. Este documento ha sido financiado en parte por la Gordon and Betty Moore Foundation, a través del proyecto GBMF9258, ejecutado por la Fundación Natura.

Referencias bibliográficas

American Birding Association (2019). *Código ético de observación de aves*. v. 2.1. <https://www.aba.org/aba-code-of-birding-ethics/>

Basile, M., Balestrieri, R., Posillico, M., Mancinelli, A., Altea, T. & Matteucci, G. (2016). Measuring bird abundance - A comparison of methodologies between capture/recapture and audio-visual surveys. *Avocetta*, 40(2), 55-61. <https://doi.org/10.30456/AVO.2016201>

Benítez-López, A., Alkemade, R., Schipper, A. M., Ingram, D. J., Verweij, P. A., Eikelboom, J. A. J. & Huijbregts, M. A. J. (2017). The impact of hunting on tropical mammal and bird populations. *Science*, 356(6334), 180-183. <https://doi.org/10.1126/science.aaj1891>

Bibby, C. J. (2004). Bird diversity survey methods. En W. J. Sutherland, I. Newton & R. E. Green (Eds.). *Bird ecology and conservation: a handbook of techniques* (pp. 1-15). Oxford University Press.

Bibby, C. J., Burges, N. D. & Hill, D. A. (1992). *Bird census techniques*. Academic Press. London.

Bibby, C., Jones, M. & Marsden, S. (2000). *Bird surveys: expedition field techniques*. BirdLife International.

BirdLife International (2018). *State of the world's birds: taking the pulse of the planet*. BirdLife International.

BirdLife International (2019). *Why we need birds (far more than they need us)*. <https://www.birdlife.org/worldwide/news/why-we-need-birds-far-more-they-need-us>

BirdLife International (2021). *Birdlife South Africa: Birder's code of ethics*. <https://www.birdlife.org.za/wp-content/uploads/2018/01/BLSA-Code-of-Conduct-Eng.pdf>

Bowman, T. D. (2014). *Aerial observer's guide to North American waterfowl*. <https://www.fws.gov/waterfowlsurveys/forms/guide.jsp?menu=guide>

Bub, H. (1991). *Bird trapping and bird banding: a handbook for trapping methods all over the world*. Cornell University Press.

Buckland, S. T., Plumptre, A. J., Thomas, L. & Rexstad, E. (2010). Line Transect Sampling of Primates: Can Animal-to-Observer Distance Methods Work? *International Journal of Primatology*, 31, 485-499. <https://doi.org/10.1007/s10764-010-9408-4>

Chávez, C., de la Torre, A., Bárcenas, H., Medellín, R. A. Zarza, H. & Ceballos, G. (2013). *Manual de fototrampeo para estudio de fauna silvestre: el jaguar en México como estudio caso*. Alianza WWF-Telcel, Universidad Nacional Autónoma de México.

Chesser, R. T., Billerman, S. M, Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Kratter, A. W., Lovette, I. J., Mason, N. A., Rasmussen, P. C., Remsen, J. V. Jr., Stotz, D. F. & Winker, K. (2020). *Check-list of North American Birds (online)*. <http://checklist.aou.org/taxa>

Connelly, B. & Peyronnin, H. (2021). *Taking off: Wildlife trafficking in the Latin America and Caribbean region*. Center for Advanced Defense Studies (C4ADS). https://www.traffic.org/site/assets/files/14510/routes_taking_off_report.pdf

Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (2019). *Brochure*. https://cites.org/sites/default/files/11/Brochure_UNEP_CITES_eng.pdf

de Sante, D. F., Saracco, J. F., Pyle, P., Helton, L., Taylor, R., Kaschube, D., Albert, A. & Carnes, B. (2021). *Manual de Operaciones – El Programa MoSI: instrucciones para el establecimiento y manejo de estaciones de anillamiento de aves del Programa MoSI (Monitoreo de Supervivencia Invernal)*. The Institute for Bird Populations. <https://www.birdpop.org/docs/misc/MoSI-Manual-Espanol.pdf>

Dowding, J. (2012). Introduction to bird monitoring. Version 1.0. En T. Greene & K. McNutt (Eds.). *Biodiversity inventory and monitoring toolbox* (pp. 1-33). Department of Conservation, New Zealand Government.

Efford, M. & Dawson, D. (2012). Birds: incomplete counts—standardized mist netting Version 1.0. En T. Greene & K. McNutt (Eds.). *Biodiversity inventory and monitoring toolbox* (pp. 1-16). Department of Conservation, New Zealand Government.

Fair, J., Paul, E. & Jones, J. (eds). (2010). *Guidelines to the use of wild birds in research* (3^a ed.). Ornithological Council.

Gill, F., Donsker, D. & Rasmussen, P. (Eds.). (2021). *IOC World Bird List (v11.2)*. <https://doi.org/10.14344/IOC.ML.11.2>

Gosler, A. (2004). Birds in the hand. En W. J. Sutherland, I. Newton & R. E. Green (Eds.). *Bird ecology and conservation: a handbook of techniques* (pp. 85-95). Oxford University Press.

Greene, T. & Murray, E. (2012). Birds: estimates of absolute density and abundance—distance sampling. Version 1.0. En T. Greene & K. McNutt (Eds.). *Biodiversity inventory and monitoring toolbox* (pp. 1-28). Department of Conservation, New Zealand Government. <https://www.doc.govt.nz/globalassets/documents/science-and-technical/inventory-monitoring/im-toolbox-birds-estimates-distance-sampling.pdf>

Groo, M., Kaufmann, K. & Verhagen, J. (s.f.). *Guide to ethical bird photography and videography*. https://nas-national-prod.s3.amazonaws.com/audubon_ethics_guide_v4a.pdf

Hartley L. & Greene, T. (2012). Birds: incomplete counts— five-minute bird counts Version 1.0. En T. Greene & K. McNutt (Eds.). *Biodiversity inventory and monitoring toolbox* (pp. 1-22). Department of Conservation, New Zealand Government. <https://www.doc.govt.nz/Documents/science-and-technical/inventory-monitoring/im-toolbox-birds-incomplete-five-min-counts.pdf>

Hildén, O., Koskimes, P., Puntti, H. & Väisänen, R. A. (1991). Archipelago bird census. En P. Koskimes & R. A. Väisänen (Eds.). *Monitoring bird population* (pp. 55-62). Finnish Museum of Natural History.

Hodges, J. I. (2014). *Wildlife Counts: A computerized simulation for learning the skill of wildlife count estimation*. www.wildlifecounts.com

Howell, S. N. G. (1999). *A bird-finding guide to Mexico*. Cornell University Press.

Howell, S. N. G. & Webb, S. (1995). *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. Oxford University Press.

Jobes, W. (2021). *Best cameras for bird photography*. <https://www.birdwatchingdaily.com/photography/how-to-photograph-birds/best-cameras-bird-photography/>

Johnson, D. H. & Dinsmore, S. J. (2020). Population analysis in wildlife biology. En N. J. Silvy (ed.). *The wildlife techniques manual* Vol. 1 (8.ª ed.) (pp. 334-364). Johns Hopkins University.

Kauppinen, J., Koskimies, P. & Väisänen, R. A. (1991). Waterfowl round count. En P. Koskimes & R. A. Väisänen (eds). *Monitoring bird population* (pp. 45-49). Finnish Museum of Natural History.

Lloyd, H., Cahill, A., Jones, M. & Marsden, S. (1998). Estimating bird densities using distance sampling. En C. Bibby, M. Jones M, S. Marsden (Eds.). *Expedition field techniques: bird surveys* (pp. 36-40). Royal Geographical Society & BirdLife International.

McEvoy, J. F., Hall, G.P. & McDonald, P. G. (2016). Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: disturbance effects and species recognition. *Peer J* 4: e1831. <https://doi.org/10.7717/peerj.1831>

Narosky, T. & Yzurieta, D. (2006). *Guía para la identificación de las aves de Paraguay*. Vázquez Mazzini Editores.

Navarro-Sigüenza, A.G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H. & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(Supl), S476-S495 <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.41882>

Neate-Clegga, M. H. C., Hornsa, J. J., Adlera, F. R., Aytেকinc, M. Ç. K. & Şekercioğlua, Ç. H. (2020). Monitoring the world's bird populations with community science data. *Biological Conservation*, 248, 108653, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108653>

Parker, I. D., Lopez, R. R. & Locke, S. L. (2020). En N. J. Silvy (ed.). *The wildlife techniques manual*. Vol. 1 (8.ª ed.) (pp. 325-333). Johns Hopkins University.

Phillippi, J. & Lauderdale, J. (2018). A guide to field notes for qualitative research: context and conversation. *Qualitative Health Research*, 28(3), 381-388. <https://doi.org/10.1177/1049732317697102>

Pierce, B. L., Lopez, R. R. & Silvy, N. J. (2020). Estimating animal abundance. En N. J. Silvy (ed.). *The wildlife techniques manual*. Vol. 1 (8.ª ed.) (pp. 297-324). Johns Hopkins University Press.

Pitkin, M. (2006). *Mist-netting with the public: a guide for communicating science through bird banding*. PRBO Conservation Science, Klamath Bird Observatory, North American Banding Council.

Real Academia Española (2020a). Técnica. En *Diccionario de la lengua española* (Edición del Tricentenario). <https://dle.rae.es/t%C3%A9cnica>

Real Academia Española (2020a). Dron. En *Diccionario de la lengua española* (Edición del Tricentenario). <https://dle.rae.es/dron?m=form>

Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E. & DeSante, D.F. (1993). *Handbook of field methods for monitoring landbirds*. U.S. Department of Agriculture. Albany, California.

Remsen, J. V. Jr., Areta, J. I., Bonaccorso, E., Claramunt, S., Jaramillo, A., Lane, D. F., Pacheco, J. F., Robbins, M. B., Stiles, F. G. & Zimmer, K. J. (2021, 27 de noviembre). *A classification of the bird species of South America*. <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.htm>

Restall, R., Roadner, C. & Lentino, M. (2006). *Birds of Northern South America: an identification guide* (Vol. 1-2). Yale University Press.

Ridgely, R. S. & Greenfield, P. J. (2001a). *Birds of Ecuador: field guide*. Cornell University Press.

Ridgely, R. S. & Greenfield, P. J. (2001b). *Birds of Ecuador: Status, distribution and taxonomy*. Cornell University Press.

Roldán-Clarà, B., López-Medellín, X., Espejel, I. & Arellano, E. (2014). Literature review of the use of birds as pets in Latin-America, with a detailed perspective on Mexico. *Ethnobiology and Conservation*, 3. <https://doi.org/10.15451/ec2014-10-3.5-1-18>

Sánchez-González, L. A. & Ortega-Álvarez, R. (2015). Monitoreo comunitario de aves: un elemento fundamental en los esfuerzos de conservación de la

biodiversidad. En R. Ortega-Álvarez, L. A. Sánchez-González & H. Berlanga García (Eds.). *Plumas de multitudes: integración comunitaria en el estudio y monitoreo de aves en México* (pp. 13-21). CONABIO.

Şekercioğlu, Ç. H. (2012). Promoting community-based bird monitoring in the tropics: conservation, research, environmental education, capacity-building, and local incomes. *Biological Conservation*, 151(1), 69-73. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.024>

Şekercioğlu, Ç. H. & Buechley, E. R. (2016). Avian ecological functions and ecosystem services in the tropics. En Ç. H. Şekercioğlu, D. G. Wenny & C. J. Whelan (Eds.). *Why birds matter* (pp. 322-340). The University of Chicago Press.

Sheil, D. & Lawrence, A. (2004). Tropical biologists, local people and conservation: new opportunities for collaboration. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(12), 634-638. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.09.019>

Sibley, D. (2011). *The proper use of playback in birding*. <https://www.sibleyguides.com/2011/04/the-proper-use-of-playback-in-birding/>

Silvy, N. J., Lopez, R. R. & Catanach, T. A. (2020a). Capturing and handling wild animals. En N. J. Silvy (ed.). *The wildlife techniques manual*. Vol. 1. (8ª ed.) (p. 63). Johns Hopkins University.

Silvy, N. J., Lopez, R. R. & Peterson, M. J. (2020b). Techniques for marking wildlife. En N. J. Silvy (ed.). *The wildlife techniques manual*. Vol. 1 (8ª ed.) (pp. 237-240). Johns Hopkins University.

Stevens, H., Metz, E., Castillo, P., Díaz Alván, J. & Bowler, M. (2019). Use of autonomous audio recordings for the rapid inventory of birds in the white-sand forests of the Peruvian Amazon. *Journal of Field Ornithology*, 90(1), 70-79. <https://doi.org/10.1111/jofo.12279>

Sutherland, W. J. (2000). *The conservation handbook: research, management and policy*. Blackwell Science.

Tàbara, J. D. (2006). Las aves como naturaleza y la conservación de las aves como cultura. *Papers*, 82, 57-77. <https://doi.org/10.5565/REV/PAPERS.2049>

Takats, D. L., Francis, C. M., Holroyd, G. L., Duncan, J. R., Mazur, K. M., Cannings, R. J., Harris, W. & Holt, D. (2001). *Guidelines for nocturnal owl monitoring in North America*. Beaverhill Bird Observatory and Bird Studies Canada.

The Royal Society for the Protection of Birds (s.f.). *The birdwatchers' code*. RSPB. <https://www.rspb.org.uk/birds-and-wildlife/wildlife-guides/birdwatching/the-birdwatchers-code/>

Thomas, L., Buckland, S. T., Burnham, K. P., Anderson, D. R., Laake, J. L., Borchers, D. L., & Strindberg, S. (2002). Distance sampling. En A. H. El-Shaarawi & W. W. Piegorsch (Eds.). *Encyclopedia of environmetrics* (pp. 544-552). John Wiley & Sons, Ltd.

Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Bishop, J. R., Marques, T. A. & Burnham, K. P. (2010). Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*, 47(1), 5-14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x>

U.S. Fish and Wildlife Service (s.f.a). *About the aerial observer training*. <https://www.fws.gov/waterfowlsurveys/welcome.jsp?menu=home>

U.S. Fish and Wildlife Service (s.f.b). *Estimating Flock Size*. <https://www.fws.gov/waterfowlsurveys/forms/counting.jsp?menu=counting>

Vergouw, B., Nagel, H., Bondt, G. & Custers, B. (2016). Drone technology: types, payloads, applications, frequency spectrum issues and future developments. En B. Custers (Ed.). *The future of drone use, information technology and law series* (pp. 21-45). T.M.C. Asser Press. https://doi.org/10.1007/978-94-6265-132-6_2

Weston, M. K. & Memon, M. A. (2009). The illegal parrot trade in Latin America and its consequences to parrot nutrition, health and conservation. *Bird Populations*, 9, 76-83.

Whelan, C. J., Şekercioğlu, Ç. H. & Wenny, D. G. (2016). Bird ecosystem services: economic ornithology for the 21st century. En Ç. H. Şekercioğlu, D. G. Wenny & C. J. Whelan (Eds.). *Why birds matter* (pp. 4-9). The University of Chicago Press.

Wilson, A. M., Barr, J. & Zagorski, M. (2017). The feasibility of counting songbirds using unmanned aerial vehicles. *The Auk*, 134(2), 350-362. <https://doi.org/10.1642/AUK-16-216>.

Uso sostenible y comercio legal de carne silvestre

Pedro E. Pérez-Peña^a

Resumen

Una de las principales actividades de las sociedades rurales es la venta de carne silvestre. Esta actividad, cuando se realiza de forma ordenada o en niveles sostenibles, beneficia considerablemente a los pobladores locales y ayuda a conservar la fauna silvestre y el ecosistema en general; sin embargo, si se realiza de manera desordenada, se convierte en sobrecaza, lo que causa la extinción de especies y una mayor pobreza económica e inseguridad alimenticia a los pueblos rurales amazónicos. Es por ello que el uso sostenible de animales de caza es una necesidad biológica y socioeconómica. Este trabajo describe el proceso para lograr este uso sostenible con el fin de comercializar legalmente la carne silvestre. Las principales etapas identificadas para tal propósito son: 1) organización y liderazgo comunal, 2) delimitación de las áreas de caza y no-caza, 3) identificación de las especies a manejar, 4) evaluación del estado poblacional de los animales de caza, 5) evaluación de la sostenibilidad de la caza, 6) establecimiento de las cuotas de caza, 7) estudio de mercado y factibilidad económica, 8) análisis microbiológico de la carne silvestre, 9) capacitación en procesamiento de la carne silvestre, 10) formalización de la asociación de cazadores, 11) elaboración del plan de manejo para aprovechamiento de animales de caza, 12) registro sanitario, y 13) identificación de lugares donde comercializar. La pandemia creó una oportunidad para monitorear esta carne silvestre, que es muy consumida en los pueblos amazónicos, pero aún queda el reto de implementar un plan de manejo accesible a todos ellos.

Palabras clave: Amazonía, animales de caza, aprovechamiento, mercado, procedimiento

^aInstituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Avenida Abelardo Quiñones km 2.5, Iquitos, Perú.

Autor de correspondencia: Pedro E. Pérez Peña. pperez@iiap.gob.pe

Sustainable use and legal trade in wild meat

Abstract

One of the main activities of rural societies is the wild meat sale. This activity, when carried out in an orderly or sustainable way, benefits the local settlers considerably, and helps to conserve the wild fauna and the ecosystem in general; but if it is carried out in a disorderly way, it becomes overhunting, causing extinction of species and more economic poverty and food insecurity in rural Amazonian villages. It is for this reason that the sustainable use of game animals is a biological and socioeconomic need. This work describes the process to achieve the sustainable use of game animals in order to legally sell wild meat. The main stages identified are: 1) organization and communal leadership, 2) delimitation of the hunting and non-hunting areas, 3) identification of the species to be managed, 4) evaluation of the population status of the game animals, 5) evaluation of hunting sustainability, 6) establishment of hunting quotas, 7) Study of the market and economic feasibility, 8) microbiological analysis of wild meat, 9) training in wild meat processing, 10) formalization of the association of hunters, 11) elaboration of the management plan for the sustainable use of game animals, 12) sanitary registration 13) Places where to commercialize. The pandemic creates an opportunity to monitor this wild meat that is widely consumed in Amazonian communities, but there is still the task to implement a management plan accessible to all Amazonian villages.

Keywords: Amazon, game animals, use, market, procedure

Uso sustentável e tráfico legal de carne silvestre

Resumo

Uma das principais atividades das sociedades rurais é a comercialização de carne silvestre. Esta atividade, quando realizada de forma ordenada ou em níveis sustentáveis, beneficia consideravelmente os habitantes locais, e ajuda a conservar a fauna e o ecossistema em geral; mas se for feita de forma desordenada, torna-se uma caça excessiva, causando a extinção de espécies e mais pobreza econômica e insegurança alimentar nos povos rurais da Amazônia. É por isso que o uso sustentável de animais de caça é uma necessidade biológica e socioeconômica. Este artigo descreve o processo para alcançar o uso sustentável de animais de caça para poder comercializar legalmente a carne de caça. As principais etapas identificadas são: 1) organização e liderança da comunidade, 2) delimitação das áreas de caça e não caça, 3) identificação das espécies a serem manejadas, 4) avaliação da situação populacional de animais de caça, 5) avaliação da caça sustentabilidade, 6) estabelecimento de cotas de caça, 7) Estudo de mercado e viabilidade econômica, 8) análise microbiológica da carne de caça, 9) treinamento no processamento da caça, 10) formalização da associação de caçadores, 11) elaboração do plano de manejo para uso da caça animais, 12) cadastro sanitário; 13) Locais de comercialização. A pandemia criou a oportunidade de monitorar essa carne silvestre amplamente consumida pelos povos amazônicos, mas permanece o desafio de implantar um plano de manejo acessível a todos os povos amazônicos.

Palavras-chave: Amazônia, animais de caça, uso, mercado, procedimento

Introducción

La carne de origen silvestre, también llamada carne de monte, es una buena alternativa al consumo de carne de animales domésticos, por tener un alto contenido proteico y de minerales, y un bajo contenido de grasa (Domínguez *et al.*, 2019). También es una gran opción para la conservación del bosque amazónico en estos tiempos, en que hay una elevada tasa de deforestación debida a la creación de pastos para ganado vacuno (Almeida *et al.*, 2016; Müller-Hansen *et al.*, 2019), pues la carne silvestre se obtiene en áreas boscosas mientras que el ganado vacuno se produce en pastizales. Por esta razón, la carne silvestre es una alternativa nutricional para el poblador amazónico y para la conservación de la Amazonía, ya que esta necesita de bosques saludables.

La cacería realizada de forma ordenada beneficia considerablemente a los pobladores locales (Figura 1) y ayuda a conservar la fauna silvestre y el ecosistema en general (Pérez-Peña *et al.*, 2016a; Pérez-Peña *et al.*, 2016b; Puertas *et al.*, 2017). No obstante, cuando esta actividad se realiza desordenadamente se convierte en sobrecaza, la principal causa del síndrome del bosque vacío o defaunación (Redford, 1992). La ausencia de animales de gran tamaño, los cuales son los mejores dispersores de semillas, trae consigo la desaparición de árboles grandes que, a su vez, son los mayores almacenadores de carbono en el

planeta (Brodie & Gibbs, 2009); asimismo, la escasez de fauna silvestre afecta a las comunidades locales y las sumerge más en su pobreza económica (Benítez-López *et al.*, 2019).

Una de las principales actividades de las sociedades rurales es la venta de carne silvestre, que genera beneficios económicos importantes para los mercados urbanos; por ejemplo, en 2007, la venta de carne en los principales mercados de Iquitos generó 1,636.465 soles o 409.116 USD (Moya, 2011). Por esta razón, la caza sostenible podría ayudar a la economía familiar del poblador nativo. Es tiempo de enfrentarnos a la sobrecaza, un problema muy grande e invisible, mediante la conversión de actividades ilegales a legales y la prevención del endurecimiento de penalidades a los cazadores, que al final solo complican el escenario del uso sostenible (Cooney *et al.*, 2017) por ser reglamentos inflexibles y poco empáticos con la población rural amazónica e, incluso, poco comprensivos con la cultura local.

El comercio de carne silvestre se empezó a debatir a raíz de la pandemia del COVID-19. La protección de la vida humana contra las enfermedades zoonóticas trajo consigo una voluntad inicial e inmediata de cerrar el comercio de carne silvestre a nivel mundial (Aguirre *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020). Un análisis más meticuloso y global sugirió que esta solución o prohibición del comercio de carne silvestre llevaría a mayores problemas de nutrición, económicos y de biodiversidad en 83 países que tienen sociedades dependientes de este producto como fuente alimenticia y económica



Figura 1. Aprovechamiento de *Cuniculus paca* por una joven secoya de la cuenca alta del Putumayo

(Booth *et al.*, 2021; Matias *et al.*, 2021; Roe & Lee, 2021). Entonces, en vez de prohibir, es el momento oportuno de generar mayor información que permita mejorar el manejo de estas especies de fauna silvestre que suponen la base económica y alimenticia de millones de pobladores nativos. Es decir, esta pandemia nos ha brindado la oportunidad para mejorar el comercio de carne silvestre, tan tradicional y vital.

Es importante indicar que como causa de las pandemias no solo participan las especies silvestres sino también los animales domésticos. Por ejemplo, los cerdos fueron la vía de transmisión de la gripe española en Europa, la influenza porcina de México y California y la gripe de Hong Kong; el pollo participó en la transmisión de la influenza

aviar en la China (Mishra *et al.*, 2021). Pero eso no evitó el consumo de cerdos ni pollos; en vez de eso, se mejoraron las medidas sanitarias para garantizar la salud de los comensales. Lo mismo debería pasar con la carne silvestre.

Por ello, es fundamental implementar estrategias que consideren las características económicas y culturales de los pueblos amazónicos. Una de esas estrategias es el uso sostenible de la fauna de caza con el fin de comercializar su carne. Lo desconocido siempre genera temor, por lo que es común pensar que el aumento del precio de la carne de monte puede incentivar la extracción de animales y, en consecuencia, una sobrecaza y una rápida desaparición de animales silvestres. Por eso, teniendo en

cuenta que toda actividad antrópica genera impacto sobre el ecosistema y no está libre de excesos que puedan causar daño, es necesario crear nuevos reglamentos cuyo elemento regulador sea la propia sostenibilidad; normas que determinen que salir del paraguas de los niveles de sostenibilidad es estar fuera de legalidad de este comercio. Por lo tanto, debe darse un equilibrio dinámico entre los niveles de beneficios y de sostenibilidad.

El uso sostenible de la fauna silvestre también requiere de reglamentos para generar beneficios; por ejemplo, derechos para quienes respetan las cuotas de aprovechamiento, anotan sus registros de cacería y extraen especies con alta tasa de reproducción y que, casualmente, son los animales que tienen buen precio en el mercado. La clave del éxito consiste en el establecimiento y el cumplimiento de las normas de caza sostenible que sean empáticas con las sociedades amazónicas. El objetivo de este trabajo es proporcionar pautas que mejoren el manejo sostenible de la fauna de caza con el fin de comercializar su carne.

Materiales y métodos

El manejo de animales de caza es un proceso que involucra diferentes actores y especialidades, como el conocimiento social, biológico y económico. Asimismo, debe considerar diferentes escalas geográficas (desde la zona donde se cazan los animales hasta los mercados urbanos) y

también comprende procesos burocráticos que deben ser evaluados por los pueblos amazónicos para su cumplimiento o beneficio. A continuación, se detalla cada una de las etapas de este complejo proceso.

Organización y liderazgo comunal

El primer paso hacia el manejo de la fauna silvestre es tener una comunidad rural que quiera usar sus recursos de forma sostenible. Asimismo, para iniciar un programa de uso sostenible de animales de caza, las comunidades deben tener líderes y normativas que regulen el manejo de sus recursos, con alto nivel de cooperación entre ellas, y con gran facilidad para identificar necesidades y soluciones a sus problemas comunitarios (Vollan & Ostrom, 2010). Las comunidades no deben esperar que las soluciones o decisiones vengan de agentes externos (Ostrom, 2009), porque las soluciones podrían tener un enfoque distinto, sin beneficios para ellas. Por ejemplo, para conservar los animales de caza, algunos profesionales pueden sugerir la prohibición de cazar, en vez de proponer ordenar la cacería y buscar una cadena de comercialización en mercados que ofrezcan un mejor precio de venta y que eviten a los intermediarios. Los pobladores rurales usualmente siguen las sugerencias de algún líder de la comunidad: el cacique, el profesor o un poblador con buena reputación que se alineen con los intereses que favorezcan a la comunidad.

Es necesario que los pobladores tengan conciencia del potencial y de las limitaciones de sus recursos naturales, tales como

peces, animales de caza, fibras vegetales y árboles maderables, recursos que son importantes para la economía familiar y cuyo uso sostenible a largo plazo debe ser considerado. Además, se debe evitar establecer “contratos”, formales o informales, con habilitadores (personas que dan dinero por adelantado al cazador para adueñarse de la carga de carne silvestre) porque estos imponen precios más bajos, situación que conlleva la sobrecaza y la defaunación.

La autoridad local debe tomar en consideración las mejores ofertas para velar por los intereses de los miembros de la comunidad, de manera que ellos se sientan representados y valorados. Las decisiones de las autoridades que son tomadas a espaldas del pueblo traen consigo divisiones sociales y resentimientos que impiden tener proyectos con beneficios comunitarios. Usualmente, estas situaciones se manifiestan en un escenario donde la autoridad, de manera personal y según sus propios intereses, brinda permisos a personas de otros lugares para extraer recursos naturales.

Delimitación de las áreas de caza y no-caza

Es importante identificar y delimitar las áreas de caza y no-caza porque ello nos permite conocer el lugar de donde se extraen los animales silvestres, el esfuerzo empleado en la caza y los lugares de no-caza. Estas últimas áreas garantizan el flujo y la conservación de los animales, y son fundamentales para repoblar y mantener a los animales de las zonas de caza.

Usualmente las zonas de caza y no-caza están dentro del mismo territorio, pero hay casos en que la zona de no-caza se encuentra fuera, especialmente en aquellos pueblos que limitan con alguna área protegida. Cuando esto sucede, es crucial garantizar la conservación del área protegida, porque allí es donde se reproducen y se mantienen las poblaciones saludables de los animales que son usados por las comunidades.

La delimitación de estas dos zonas, de caza y no-caza, se puede realizar mediante la elaboración de mapas participativos, con el apoyo de grupos de cazadores y con el complemento de entrevistas individuales.

El primer paso para comenzar esta tarea es realizar una reunión para la conformación de grupos de cazadores, quienes identificarán los cuerpos de agua y los transectos o caminos de caza. Posteriormente, cada grupo procede a precisar los lugares de caza y no-caza, y un representante de cada uno expone los resultados, los cuales pueden ser complementados por los integrantes de los otros grupos de cazadores (Figura 2). Finalmente, en gabinete, estos puntos localizados por los cazadores se trasladan a un mapa final, se crea el polígono y se delimitan las áreas de caza y no-caza.

Por lo general, cada comunidad permite que pobladores de comunidades vecinas cacen en su zona de caza; de lo contrario, se crean conflictos. Asimismo, hay territorios que involucran varias comunidades anexas o agregadas que comparten una sola zona de caza. También hay zonas de caza que están fuera del límite territorial



Figura 2. Identificación de zonas de caza y no-caza en comunidades secoyas del Alto Putumayo

de la comunidad; estas zonas por lo general se ubican en bosques muy productivos. Por ejemplo, en la Reserva Nacional Pucacuro, la zona de caza coincide con los bosques productivos de la formación Pebas (Higgins et al., 2011; Pérez-Peña et al., 2016a; Pérez-Peña, 2016b), mientras que el territorio de los kichwas de la cuenca alta del Putumayo coincide con un aguajal mixto (Pérez-Peña et al., 2021).

Identificación de las especies a manejar

Las especies con potencial para ser aprovechadas sosteniblemente con fines comerciales son aquellas que cumplen con las siguientes condiciones: 1) alcanzan la madurez sexual en el primer año de vida, 2) son abundantes en la zona y 3) su carne tiene

buen precio en el mercado. En la Reserva Nacional Pucacuro (Loreto, Perú), por ejemplo, se implementó un plan de manejo con fines comerciales de *Tayassu pecari* (Figura 3), *Pecari tajacu*, *Cuniculus paca*, *Mazama americana* y *Mazama nemorivaga* (Pérez-Peña et al., 2016a). Estas especies también se consideraron en el Área de Conservación Regional Ampiyacu Apayacu (Loreto, Perú), además del *Dasyprocta fuliginosa* (Puertas et al., 2017). Todas ellas son menos vulnerables a la sobrecaza (Bodmer et al., 1997).

Las especies más aprovechadas y con mejor precio en el mercado son *T. pecari*, *P. tajacu* y *C. paca*. Es fundamental conocer el uso de hábitats de estas especies para crear una adecuada estrategia de aprovechamiento. *T. pecari* es abundante en comunidades rurales de bosque inundable,



Figura 3. *Tayassu pecari* es una de las especies preferidas para la caza

mientras que el *P. tajacu* es más numeroso en comunidades rurales asentadas en bosque de tierra firme. *C. paca*, por su parte, es abundante tanto en bosque inundable como en tierra firme. Las comunidades que tienen territorios con diferentes tipos de bosque, y más aún si tienen aguajales, tienen mayor oportunidad de cazar de forma sostenible. De todas las especies de caza, los *Mazama* spp. son los menos abundantes.

Estado poblacional de los animales de caza

El manejo de los animales de caza requiere de información poblacional precisa y actualizada. Existen diversos métodos de muestreo poblacional de fauna silvestre, y cada uno tiene sus ventajas y desventajas; por lo tanto, para aplicarlos es necesario

conocer estos detalles. A continuación, se describen los métodos más frecuentemente utilizados para estimar la población o abundancia de fauna.

Transectos Distance

El método Distance (Buckland *et al.*, 1993) se basa en el principio de que los observadores no pueden avistar a todos los animales que se encuentran fuera de la línea central del transecto. Los animales que tienen mayor probabilidad de ser observados son aquellos que se encuentran más cercanos a este, es decir, las especies de mayor tamaño, las que forman grupos grandes o las que son tolerantes a la presencia humana. Al contrario, la probabilidad de avistar a los animales disminuye a medida que se alejan de la línea central; esto se

debe a que son animales ariscos, que viven en grupos pequeños, que poseen masa corporal pequeña o usan del estrato más alto del bosque y sotobosque denso.

El método consiste en recorrer diversos transectos preestablecidos (con una longitud que depende del área del hábitat) entre las 7:00 y las 16:00 horas. Durante este recorrido se registran las diferentes especies observadas en todos los estratos del bosque. En cada avistamiento se registra la distancia perpendicular del animal con respecto al transecto y el número de individuos observados. Si la especie es gregaria, se calcula la distancia perpendicular del primer individuo avistado al transecto. De forma paralela, se colecta información ecológica del lugar, como el tipo de hábitat y las palmeras dominantes. Otras informaciones que se deben registrar son: fecha, lugar, ubicación del transecto, hora, distancia recorrida dentro del transecto y clima.

Teóricamente se necesita un mínimo de 40 avistamientos para tener un estimado preciso; sin embargo, con solo 20 avistamientos se pueden obtener resultados confiables si las distancias perpendiculares están homogéneamente distribuidas desde la línea central del transecto hasta la distancia más lejana (Peres & Cunha, 2011). Buckland *et al.* (2010) recomiendan recorrer entre 10 y 20 transectos lineales para tener un tamaño de muestra representativa, y así tener resultados precisos mediante criterios estadísticos. Es importante recordar que la precisión también depende de la distribución homogénea de la especie en la zona de muestreo (si esta utiliza uno o varios

hábitats), así como del tamaño del grupo y su estado de conservación.

El *software* Distance utiliza tres funciones claves y tres series de expansión, que generan las siguientes combinaciones o modelos: uniform + cosine, uniform + simple polynomial, half-normal + cosine, half-normal + hermite polynomial y hazard rate + cosine. Las distancias muy alejadas se eliminan mediante el proceso de truncado con la finalidad de ayudar al ajuste de los modelos. Se elige como mejor modelo aquel que tiene: 1) menor valor del Criterio de Información de Akaike (AIC), 2) prueba de bondad y ajuste (X^2) con $P > 0.05$, y 3) coeficiente de variación (CV) menor a 30 %. El *software* realiza estimaciones de densidad individual y grupal, tamaño promedio de grupo, coeficiente de variación (medida de precisión) e intervalo de confianza (medida de exactitud). El análisis también calcula el error estándar de cada indicador. Estos cálculos se realizan con el *software* Distance 6.2 (Thomas *et al.*, 2010).

Este es un buen método para estimar la densidad; sin embargo, en lugares donde hay caza desordenada o sobrecaza es muy difícil conseguir el número de avistamientos suficientes para poder estimarla debido a la escasa cantidad de animales. En estos casos es preferible usar la fórmula de transecto en banda o de ancho fijo.

Transectos en banda o de ancho fijo

Este método asume que la probabilidad de que un individuo sea observado dentro de un ancho fijo o distancia predeterminada desde la línea central es del 100 % (Burnham

et al., 1980). Es decir, este método asume una probabilidad de detección de 1 hasta el límite de la distancia predeterminada. El punto crítico de este método es determinar el ancho fijo o la distancia óptima donde se puedan observar el 100 % de los individuos, ya que este ancho varía según la especie y de acuerdo con factores biológicos, y con el criterio de cada investigador. Si el ancho del transecto es muy grande, es imposible detectar todos los animales dentro de este y los resultados subestimarán la población; pero si el ancho es muy estrecho, la muestra que se obtiene es muy pequeña y sobreestimaré la población (Meredith, 2008). Sugiero, entonces, que se considere como ancho fijo aquella distancia dentro de la cual la especie puede ser identificada y contada apropiadamente. Esta distancia depende del tamaño de la especie y de otras particularidades de la manada, y es similar al ancho de banda efectiva estimada (ESW) con el software *Distance*.

Al igual que el transecto *Distance*, este método también consiste en recorrer diversos transectos preestablecidos. Los avistamientos se realizan desde las 7:00 hasta las 15:00, tanto de ida como de vuelta. Se colecta la información del número de individuos avistados, la distancia perpendicular de cada animal registrado con respecto al transecto, la distancia de la observación del animal al origen del transecto, el clima, la hora, el hábitat y otras observaciones. La distancia perpendicular se mide con una cinta métrica o medidor láser de hasta 50 m. En campo se anotan todos los avistamientos fuera y dentro del ancho fijo, y ya en gabinete se eligen solo

avistamientos realizados dentro del ancho fijo de acuerdo con las distancias medidas.

La colecta de información es similar a los transectos *Distance*. Para *C. paca* se propone considerar el ancho fijo de 10 m; para *P. tajacu* y *Mazama* spp., de 20 m, y para *T. pecari*, 30 m. La estimación de la densidad sigue la ecuación: $D=n/2WL$ (Burnham et al., 1980), donde **D** es densidad, **n** es el número de animales avistados dentro del ancho fijo, **2** es la constante que indica un muestreo a ambos lados del transecto, **L** es el recorrido total en km y **W** es el ancho fijo en km.

Cámaras trampa

La efectividad de los métodos basados en la observación directa suele ser baja cuando se utiliza para especies de mamíferos que son muy evasivas ante la presencia humana, ya que generan pocos registros y finalmente se producen estimaciones erróneas de abundancias. Las cámaras trampa pueden subsanar esta situación porque son métodos no invasivos que causan muy poca perturbación y permiten detectar el movimiento o el calor de los animales mediante sensores infrarrojos. Este método es usado para estimar la diversidad y la abundancia de mamíferos de hábitos terrestres y arborícolas (Bowler et al., 2017; Tobler et al., 2008), además de patrones de actividad, comportamiento y coexistencia entre especies (Orta-Martínez et al., 2018).

El monitoreo de la abundancia de mamíferos terrestres a largo plazo (índice de abundancia) mediante el uso de las cámaras trampa, se delimita el área de estudio y se crean grillas (0,5 km², 1 km² o 2 km²).

Después, en las grillas se buscan evidencias de animales (caminos, comederos, madrigueras, colpas y huellas), aunque muchas veces estas no se encuentran en el punto central de la grilla. Finalmente, se colocan las cámaras trampa a una altura de entre 30 y 50 cm, y permanecen activas las 24 horas. Si las cámaras son híbridas, se capturan fotos (formato HD) y videos de al menos 25 segundos (formato 4K), en intervalos de 1 minuto, con control LED y el nivel de sensor al máximo.

Con este método se puede estimar la abundancia mediante la tasa fotográfica (Carbone *et al.*, 2001; Carbone *et al.*, 2002) que, al estar relacionada con la densidad poblacional (Rovero & Marshall, 2009), es una buena medida de abundancia. El indicador de abundancia calculado a través de las cámaras trampa tiene la siguiente fórmula: n° fotos/días cámaras trampa, es decir, la cantidad de fotos independientes que se toman durante el tiempo de muestreo (días cámaras trampa). Es necesario decir que la tasa fotográfica fue muy criticada en sus inicios porque se desconocía su relación con la densidad (Jennelle *et al.*, 2002), pero después de que esta relación se hizo evidente se sugirió la necesidad de tener un esfuerzo de 250-300 días cámaras trampa para alcanzar una alta precisión en los estimados de abundancia o tasa fotográfica (Rovero & Marshall, 2009). Es importante determinar las fotos independientes en el tiempo apropiado, es decir, si un grupo de *P. tajacu* es fotografiado varias veces en la misma cámara trampa en el lapso de una o dos horas, esas tomas equivalen a una foto independiente.

Conteo de madrigueras

Este método es exclusivo para el estudio de *C. paca*, que se caracteriza por ser una especie evasiva y nocturna que vive en madrigueras de árboles caídos, raíces de grandes árboles, bordes de cuerpos de agua y depresiones de colinas. Estas particularidades del *C. paca* dificultan estimar con precisión su abundancia porque esta especie puede detectar al evaluador a una gran distancia y evadirlo. Por esta razón, el conteo de madrigueras se presenta como una metodología alternativa, puesto que estas se pueden encontrar a cualquier hora del día. Además, se sabe que un *C. paca* suele usar un promedio de 3,5 madrigueras (Beck-King *et al.*, 1999).

Este método consiste en contar las madrigueras activas (Beck-King *et al.*, 1999) en una franja de 10 m a cada lado del transecto; se puede considerar un mayor ancho dependiendo del esfuerzo de búsqueda a ambos lados. Las madrigueras activas son aquellas que tienen evidencias de vida en su interior, por ejemplo, carecer de telas de araña. Entonces se anota la distancia perpendicular de la madriguera al transecto, la distancia en el transecto y el tipo de hábitat. La densidad se estima usando la ecuación de Beck-King *et al.* (1999): $D = (n/3,5) / (L2W)$, en donde **D** es la densidad de *C. paca*, **n** es el número de madrigueras activas, la constante **3,5** indica el número de madrigueras que utiliza un mismo individuo, **L** es la longitud del transecto en km, el número **2** indica la búsqueda a ambos lados del transecto y **W** es el ancho fijo en km.

Huellas

En muchas áreas de la Amazonía es difícil observar especies de gran tamaño debido a diversas causas, como comportamiento evasivo, baja densidad (debido a que tienen una tasa baja de reproducción), sobrecaza o poca productividad del bosque. En estos casos, el registro de huellas se vislumbra como una buena alternativa. No obstante, es imprescindible realizar la identificación precisa de la huella de la especie en diferentes tipos de suelo. Este método suele usarse principalmente con el *Tapirus terrestris* y ambos pecaríes (*T. pecari* y *P. tajacu*) (Pérez-Peña *et al.*, 2019; Ramos-Rodríguez *et al.*, 2019). Es por esta razón que en especies de ungulados el registro de huellas es fundamental (Gómez *et al.*, 2016; Fragoso *et al.*, 2016).

Las evaluaciones poblacionales realizadas en la cuenca alta del Putumayo y Napo en la Amazonía peruana han mostrado que el método de huellas permite registrar con mayor frecuencia a los ungulados (Pérez-Peña *et al.*, 2019; Ramos-Rodríguez *et al.*, 2019) en comparación con el método de cámaras trampa y de avistamientos en transectos. De esta forma, es recomendable usar este método de forma complementaria para mejorar la precisión de las conclusiones. Las huellas son registradas a lo largo de los transectos durante todos los días de la evaluación. Cada vez que se registra una huella se anota la especie y la distancia al origen, y luego se borra para evitar el doble conteo. Únicamente se anotan las huellas que tienen el 100 % de confianza en la identificación. La abundancia se mide mediante el índice que considera el número de huellas

registradas por kilómetro recorrido, de tal manera que la unidad sería huella/km.

Consenso cultural

Todos los métodos anteriores se basan en el conocimiento académico científico, pero el manejo de animales de caza debe considerar el conocimiento de las sociedades que hacen uso de este recurso. El conocimiento ecológico tradicional es aquel que nace de la cultura popular, se origina a partir de la información consensuada de los pobladores (Weller, 2007) y se mantiene en forma de costumbres, mitos, leyendas, ceremonias, músicas y otros tipos de manifestaciones culturales (Hewson, 2015). Esta información proviene del profundo conocimiento del bosque y todos sus componentes, que son aprovechados por todas las poblaciones nativas. El conocimiento de los cazadores puede ser usado como información primaria para estimar la abundancia de la fauna silvestre (Van Holt *et al.*, 2010), porque se desarrolla a partir de la experiencia a lo largo de los años y de las conversaciones con otros cazadores.

Este conocimiento se puede obtener mediante el método de consenso cultural (Weller, 2007). Este puede ser una buena elección si queremos un monitoreo a largo plazo, de bajo costo, de fácil aplicación y que combine la participación de población local con representantes del gobierno y conservacionistas (Pérez-Peña *et al.*, 2012). En estudios recientes, este método ha mostrado estimados de abundancia relativa congruentes con los estimados por el método de transectos Distance y de ancho

fijo (Pérez-Peña *et al.*, 2012; Braga-Pereira *et al.*, 2021).

El método del consenso cultural se basa en la aplicación de entrevistas a cazadores para estimar la abundancia relativa de las diferentes especies. Consiste en presentarles las imágenes de diferentes especies de fauna, mayormente de caza, para que ellos las clasifiquen como especies ausentes, raras, abundantes o frecuentes (Van Holt *et al.*, 2010). Las preguntas sobre su abundancia tienen que hacer referencia a un espacio de interés, como el territorio de una comunidad o un hábitat. Si los entrevistados solo consideran dos categorías (raras y abundantes) se debe volver a preguntar para confirmar sus respuestas. Este método atrae fácilmente la atención del encuestado, disipa su timidez y crea un espacio de confianza para conversar sobre

otros temas relacionados con la cacería, las amenazas, la ecología y la distribución de animales (Figura 4).

El análisis de los resultados, a través del programa UCINET 6.45 (Borgatti *et al.*, 2002), usa la matriz de respuesta de cada cazador para evidenciar el consenso entre ellos. Cuando la proporción entre el primer y el segundo autovalor es mayor a tres, es decir, cuando las respuestas son unidimensionales o el primer factor explica dos tercios o más de la varianza en la matriz de respuestas, se considera que existe consenso entre las respuestas de todos los cazadores. El modelo también proporciona el valor promedio de abundancia de cada especie y su valor de abundancia relativa.



Figura 4. Método de consenso cultural para estimar la abundancia de las especies de caza

Evaluación de sostenibilidad de la caza

Todo comercio de recursos naturales debe realizarse con base en estándares de uso sostenible. La funcionalidad de la estrategia de uso sostenible de animales de caza debe ser evaluada con los modelos existentes de sostenibilidad de la caza, los cuales determinan si la extracción se realiza debajo de los límites permisibles. Estos análisis son la clave para direccionar las estrategias de aprovechamiento con fines comerciales. A continuación, se detallan los modelos usados para evaluar la sostenibilidad de la caza.

Modelo de cosecha

Este modelo compara la producción y la cosecha de animales de caza. La producción de una especie se calcula usando la siguiente fórmula: $P = (0,5D)(Yg)$, donde **Y** es la productividad reproductiva bruta, **g** es el número de gestaciones por año y **D** es la densidad poblacional, asumiendo un *sex ratio* (hembras/machos) del 50 % (Fang *et al.*, 2008). La información de productividad bruta de *C. paca*, *T. pecari* y *P. tajacu* se basan en Mayor *et al.* (2005), Mayor *et al.* (2010) y Aquino *et al.* (2009), y el número de gestaciones se obtiene de los estimados realizados por Mayor *et al.* (2017). La cosecha o presión de caza se calcula dividiendo el número de individuos cazados entre el área de caza. El número de individuos se puede definir mediante entrevistas o registros de caza. De acuerdo con Bodmer & Robinson (2004), el límite máximo de la cosecha sostenible es del 50 % para *C. paca*

y del 40 % para los ungulados (*T. pecari*, *P. tajacu* y *Mazama* spp.).

Modelo de esfuerzo

Este modelo requiere que los cazadores registren todas las presas que obtienen en su actividad de caza. Los registros de caza son cuadernos donde se anota el nombre del animal cazado, el número de animales abatidos, el lugar, el sexo, el nombre y lugar donde vive el cazador, la fecha y el esfuerzo empleado en términos de días de caza. Estos registros son muy importantes porque involucran al cazador y a su familia. Usualmente, las mujeres (esposa o hijas) realizan mejor esta labor porque son más ordenadas y estables en la comunidad, y pueden conocer la caza de otras familias.

Este modelo relaciona la caza con el esfuerzo empleado: utiliza la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) como indicador de la cacería, medida que se calcula usando el número de animales cazados y los días de caza utilizados. Una disminución en la CPUE sugiere la existencia de sobrecaza, mientras que una CPUE en aumento o estable refleja incremento o estabilidad poblacional, respectivamente (Bodmer & Robinson, 2004). Estos análisis de tendencias requieren de varios años de información de cacería y del registro del esfuerzo empleado.

Para calcular la CPUE se usa el número de días de caza como unidad de esfuerzo. No obstante, en algunas zonas esto puede ser una tarea ardua porque se tiene que considerar solamente el esfuerzo de caza y no los días invertidos en transporte, preparación de la carne y descanso por lluvia. Por

esta razón, es crucial que los registradores estén atentos al coleccionar de forma precisa el esfuerzo de caza para que los estimados sean más exactos. Los estimados de la CPUE que usan días de caza son indicadores del tamaño poblacional de las especies analizadas (Fang *et al.*, 2008; Pérez-Peña, 2016a). Este modelo es muy adecuado para el análisis de sostenibilidad de las especies predilectas por los cazadores. Aquellas que no son preferidas suelen mostrar resultados confusos. Por ejemplo, una especie puede ser abundante, pero si no es cazada, en los análisis aparece como menos abundante.

El escaso registro de caza de estas especies puede aumentar la imprecisión de los resultados y causar problemas de hiperestabilidad o hiperdeclive.

Establecimiento de cuotas de caza

Las cuotas de extracción se estiman con base en el consumo de cada familia (Figura 5) y en los análisis de sostenibilidad de la caza. Para lo primero, se realizan entrevistas con el fin de estimar el aprovechamiento que cada familia hace de los animales cazados; esta información también se puede



Figura 5. Cazador cargando un *Mazama americana* en una comunidad yagua en el río Yavari Mirín

obtener mediante entrevistas grupales a los jefes del hogar. Los resultados permiten conocer el número de animales que se aprovechan tanto para la alimentación como para la venta.

La sostenibilidad de la caza, por su parte, se evalúa con base en la información de los resultados del estudio poblacional de las especies cinegéticas, de su aprovechamiento anual y de su información reproductiva. Si el número de animales aprovechados es sostenible, este mismo valor puede constituirse en la cuota de extracción. En el caso de que el aprovechamiento actual no sea sostenible, la cuota de extracción debe reducirse de manera consensuada para ajustarlo hasta el límite en que lo sea.

Estudio de mercado y factibilidad económica

La carne silvestre tiene una gran aceptación; por ejemplo, en Iquitos existen pocas personas que rechacen su consumo. Por su parte, las razones para rechazarla pueden ser organolépticas (no les gusta el olor), por cuestiones culturales (son de ascendencia costeña o andina) o por seguir corrientes proteccionistas. Para hacer un plan de manejo de animales de caza con fines comerciales, es fundamental conocer el mercado donde esta carne se vende a mejor precio. Para ello es clave la identificación de restaurantes, albergues, supermercados y mercados interesados en comprar la carne de monte que es legal y que garantice la sostenibilidad económica de la actividad de manejo (Figura 6).

La identificación *a priori* se realiza con base en entrevistas a los potenciales compradores, en las que se indaga por el valor que están dispuestos a pagar por una carne legal y manejada por comunidades rurales (indígenas o mestizas). En la encuesta se pueden mencionar algunos precios para que el entrevistado pueda elegir el que crea adecuado. También, es conveniente preguntar por sus preferencias con respecto a las especies a comercializar, su cantidad y frecuencia, y el tipo de presentación de la carne (ahumada, fresca o fresca-salada). De la misma manera, es importante comentarle a los encuestados que la carne silvestre que se comercializa actualmente suele ser ilegal y no considera la conservación de las especies y que, en cambio, la estrategia que aquí se explica busca mejorar la economía de las comunidades y que al mismo tiempo ayuda a conservar a los animales en su medio ambiente porque su caza es controlada.

Esta identificación inicial del mercado, a través de las encuestas, debe complementarse con un estudio de mercado más profundo, necesario para lograr un comercio exitoso. Dicho estudio debe comprender la contextualización del comercio y el análisis de la oferta, de la demanda y de la comercialización del producto. En la contextualización hay que describir la asociación de cazadores encargada del comercio de la carne y la delimitación geográfica de los lugares donde se vendería la carne silvestre. El análisis de la demanda debe contener el comportamiento de la venta de la carne silvestre (según la estacionalidad o influencia de la abundancia de carne de pescado), así como la identificación y evaluación de los



Figura 6. Entrevistas a representantes de restaurantes en la ciudad de Iquitos

grupos de mercados (supermercados, mercados populares, restaurantes, albergues turísticos, etc.) y su tamaño. El análisis de la oferta debe incluir su comportamiento (influencia de la estacionalidad o de los hábitats en la abundancia de los animales de caza) y cómo están organizados o estructurados los grupos de cazadores, quienes brindan este servicio. El análisis de comercialización debe describir claramente el producto, determinar a los proveedores, estimar el precio de venta, realizar la ruta de distribución e identificar a los compradores finales.

Un análisis de factibilidad económica es necesario para determinar la relación costo beneficio del comercio de carne silvestre. Si en la evaluación se observa que los costos superan a los beneficios, es mejor no

desarrollarlo. Los cazadores amazónicos comercializan la carne silvestre desde hace varias décadas a pesar de su bajo costo, pues consideran que, aunque la ganancia es pequeña, es mejor a nada. Se sabe que la venta legal de carne puede mejorar el mercado y, en consecuencia, producir mayores beneficios. Es decir, la legalidad de la carne silvestre puede traer consigo un negocio con mayor beneficio económico.

Análisis microbiológico de la carne silvestre

La carne silvestre no suele ser sometida a controles sanitarios porque se considera que es carne ilegal; por lo tanto, esta no puede ser monitoreada microbiológicamente según las normas sanitarias y simplemente es decomisada. Este problema de

incumplimiento de las normas de sanidad alimentaria genera mayor preocupación a raíz de la rápida propagación del COVID-19 (Xie *et al.*, 2020). Como alternativa, se aconseja crear un sistema de monitoreo sanitario que garantice un producto de buena calidad para los consumidores.

La norma sanitaria (RM N° 615-2003 SA/DM) establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad que deben cumplir los alimentos y bebidas en estado natural, elaborados o procesados, para ser considerados adecuados para el consumo humano. De lo contrario, no son aptos y este no se permite. Según esta resolución ministerial, cualquier producto de consumo humano debe tener concentraciones aceptables de microorganismos indicadores de higiene y microorganismos patógenos (Tabla 1). En la carne seca o seco-salada

se deben evaluar las concentraciones de *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* y *Salmonella sp.*, y en la carne cruda y cruda-curada hay que analizar los aerobios mesófilos, además de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* y *Salmonella sp.*

Capacitación para el procesamiento de la carne silvestre

La carne silvestre proveniente de las comunidades cazadoras tiene cortes que dificultan un ahumado homogéneo; esta deficiencia puede conllevar su descomposición en pocos días y, por consiguiente, la pérdida rápida del producto. En consecuencia, es fundamental que los cazadores reciban una capacitación adecuada para mejorar el tipo de corte o fileteo, así como

Tabla 1. Valores referenciales de agentes microbianos permitidos en carne ahumada y fresca según Resolución Ministerial N° 615-2003 SA/DM

Agente microbiano	Valor referencial	
	Límite por g	
	Mínimo	Máximo
Carne ahumada		
<i>Aerobios mesófilos</i> (UFC/g)	10 ⁶	10 ⁷
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	50	5 x 10 ²
<i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/g)	10 ²	10 ³
<i>Clostridium perfringens</i> (UFC/g)	10 ²	10 ³
<i>Salmonella sp.</i>	Ausencia/ ²⁵ g	
Carne fresca		
<i>Aerobios mesófilos</i> (UFC/g)	10 ⁶	10 ⁷
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	50	5 x 10 ²

la cantidad necesaria de sal para mejorar la preservación y el sabor de la carne, y para realizar un proceso adecuado de ahumado y de preparación de otras modalidades de presentación de la carne silvestre.

Estas capacitaciones deben considerar la participación de las mujeres, porque son ellas quienes suelen realizar el corte o fileteado de la carne. Es importante recordar que toda la cadena de comercio de la carne silvestre, desde la obtención del animal hasta el faenado, es realizada por hombres y mujeres; por lo tanto, las capacitaciones deben involucrar a los cazadores y a sus esposas.

El proceso de diversificación de los productos derivados de la carne silvestre requiere implementar una adecuada cadena de frío, tal y como se hace con la carne de los grandes bagres, que se comercializa en medallones, filetes y hamburguesas. Por ello, las congeladoras artesanales, eléctricas o de panel solar son fundamentales en el comercio de la carne silvestre.

Formalización de asociación de cazadores

En el Perú, el primer paso para formalizar una asociación de cazadores es tener un libro de actas legalizado en una notaría, que incluya el nombre de la asociación. El segundo paso consiste en organizar una reunión con las personas integrantes de la asociación para redactar el acta de fundación, en la que se indica la fecha, el lugar, el nombre del grupo/asociación y una lista de socios fundadores (que incluya el nombre y documento nacional de identificación de todos ellos). Acto seguido, se procede a

la elección de la primera Junta Directiva, constituida por un presidente, un vicepresidente, un secretario, un tesorero y varios vocales, según se acuerde.

En tercer lugar, se debe realizar la solicitud de reserva de nombre a la Superintendencia Nacional de Registros Públicos. Esta reserva tiene una validez de un mes aproximadamente para ser adoptada oficialmente por la asociación. En cuarto lugar, un notario público debe recibir el libro de actas, que contiene el Acta de Fundación y las copias del documento nacional de identificación vigente de todos los socios. Con este material, el notario público ayuda a elaborar el estatuto y la minuta de constitución, para que la asociación pueda ser inscrita en los registros públicos. En Perú este proceso tiene un costo aproximado de 600 soles (150 USD). Una vez que la asociación de cazadores ya esté inscrita en los registros públicos, se debe registrar en la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria, para que la asociación pueda emitir un comprobante por cada venta que realice y pagar mensualmente el impuesto correspondiente.

Plan de manejo para aprovechamiento de animales de caza

El Estado peruano permite el comercio legal de carne de monte solo si esta proviene de áreas donde se aprovecha sosteniblemente bajo planes de manejo. Estas áreas pueden ser territorios titulados, áreas protegidas de uso directo y concesiones de fauna silvestre en territorios de dominio público. Un plan de manejo es un documento

de gestión elaborado por regentes de fauna silvestre en colaboración con las comunidades locales. Los regentes son profesionales especializados en estudios de fauna silvestre reconocidos por el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR).

El manejo de animales de caza puede incluir especies no amenazadas, pero también especies amenazadas que estén en la categoría vulnerable a nivel nacional o aquellas listadas en los apéndices de CITES, siempre que se tenga la opinión favorable de la autoridad competente (autoridad administrativa CITES); además, en el caso de manejar especies CITES, se debe de tener un plan de conservación específico para garantizar su conservación.

Un plan de manejo se compone de las siguientes partes o secciones: 1) Introducción, 2) Antecedentes, 3) Objetivos y duración del plan, 4) Marco legal, 5) Antecedentes de manejo con la implementación de acuerdos de actividad menor, 6) Evaluación del recurso a manejar, 7) Análisis de amenazas y potencialidades, 8) Pautas para el aprovechamiento, 9) Pautas para el manejo 10) Análisis económico del aprovechamiento, 11) Monitoreo y evaluación del Plan de Manejo, 12) Cronograma de actividades, 13) Estrategia de financiamiento y 14) Referencias bibliográficas.

El plan de manejo es un documento técnico especializado que tiene un costo de elaboración aproximada de 10.000 soles (2.500 USD) sin contar los gastos del estudio poblacional, del aprovechamiento y los análisis de sostenibilidad de las especies a manejar. El coste de estas actividades

puede variar entre 30.000 y 60.000 soles (7.500 y 15.000 USD). La parte más costosa de este proceso es el estudio poblacional a través de métodos académicos (cámaras trampas o transectos); no obstante, si se considera el conocimiento tradicional, se pueden reducir los costos y se mejora la participación de las comunidades rurales. Asimismo, si una institución gubernamental se encarga de realizar los planes de manejo para las comunidades rurales, esto constituye un gran paso hacia la accesibilidad de los planes de manejo en la Amazonía. Actualmente solo unas pocas comunidades pueden acceder al plan de manejo gracias a que tienen el apoyo de algunas ONG.

Los comerciantes de carne silvestre de mercados urbanos en Iquitos (Loreto, Perú) indican que les gustaría venderla sin temor a que la policía la decomise, mientras que los cazadores comentan que sería conveniente recibir un mayor precio para aumentar su ganancia. Estas solicitudes pueden ser cumplidas mediante el comercio legal de carne de monte a través de un plan de manejo legal accesible.

Registro sanitario

El resultado final, una vez cumplidas todas las etapas anteriores para lograr el manejo sustentable de animales de caza con fines comerciales, es la obtención del registro sanitario. Este es el documento que autoriza para vender un producto destinado al consumo humano. En Perú, el registro sanitario de carnes está regulado por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud. Los

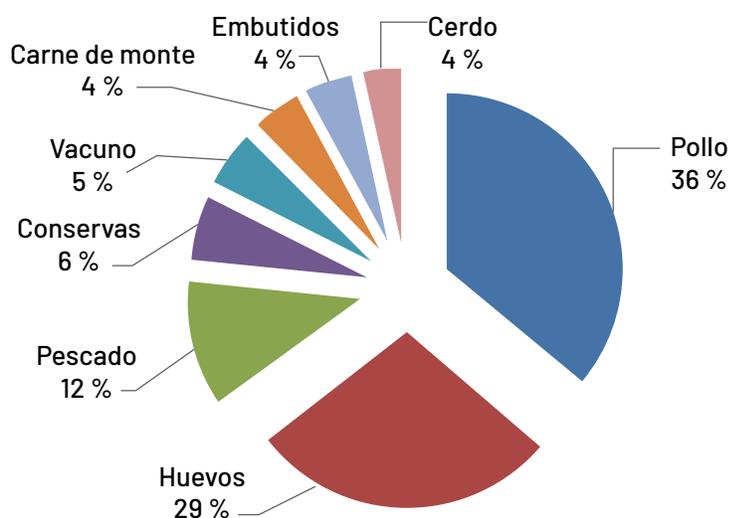


Figura 7. Porcentaje de consumo de fuente proteica en la ciudad de Iquitos

análisis físicos, químicos y microbiológicos de la carne silvestre aportan la información más relevante para confirmar su aptitud, de acuerdo con la normatividad sanitaria vigente, y la certificación debe ser otorgada por un laboratorio acreditado. Asimismo, es importante realizar análisis bromatológicos que determinen sus propiedades nutricionales, los cuales deben ser realizados por un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) para los alimentos y bebidas de regímenes especiales.

Una encuesta virtual realizada a 214 personas de Iquitos, en el año 2020, mostró que el consumo de carne de monte representa el 4 % del total de fuente proteica, y se encuentra al mismo nivel de la carne de cerdo, del embutido y de la res (Figura 7). Sin embargo, las únicas carnes que tienen acceso a un monitoreo sanitario son la carne de res y de cerdo. Si el consumo de carne silvestre aumentara, sería imperativo realizar estudios microbiológicos más

completos para garantizar la salud de los consumidores. La pandemia ha puesto en alerta a la humanidad sobre la calidad de alimentos que consume. La mayoría de ellos están bajo control sanitario, pero no la carne silvestre. Este es el momento para que esta, de gran arraigo cultural e importancia para la sociedad amazónica, se visibilice legalmente y tenga los mismos beneficios y exigencias que otras carnes consumidas en la Amazonía.

Lugares donde comercializar

En la Amazonía peruana, la ciudad de Iquitos es el lugar donde se comercializa la mayor cantidad de carnes silvestres desde hace varias décadas, y esto va en aumento cada año, en paralelo al crecimiento poblacional. En la actualidad, se estima un consumo anual de 442 toneladas en los mercados de la ciudad (Mayor *et al.*, 2021). Además, en Iquitos no solo se vende carne silvestre en el mercado popular, sino que también se ofrece en el menú de

restaurantes y albergues turísticos que se abastecen de los mercados urbanos. La mayoría de restaurantes venden platos con carne silvestre de forma diaria o pasando un día. En cinco de ellos, las carnes de *C. paca* y *P. tajacu* son las más frecuentemente vendidas, con 203 kg/mes y 165 kg/mes, respectivamente. Asimismo, se vende carne de *Caiman crocodilus* (100 kg/mes), de *Mazama* spp. (49 kg/mes), de *Hydrochoerus hydrochaeris* (15 kg/mes) y de *Chelonoidis denticulatus* (4 ind/mes). Los representantes de los restaurantes conocen la ilegalidad de la carne silvestre y tienen interés en la adquisición de carne legal; así, están dispuestos a pagar precios de hasta 20 y 30 soles/kg (5 y 7,5 USD), precios similares a la actual demanda.

Entrevistas realizadas a ocho albergues turísticos en Iquitos indicaron que ahí solo se consumen tres especies de mamíferos: *P. tajacu* (257 kg/mes), *C. paca* (251 kg/mes) y *Mazama americana* (8 kg/mes); aunque es probable que consuman *T. pecari*, identificado erróneamente como *P. tajacu*. La mayoría de los entrevistados mencionó que compran la carne silvestre para diversificar los platos típicos ofertados a los turistas.

Los supermercados de Iquitos no venden carne silvestre debido a la ausencia de proveedores formales que ofrezcan productos con estándares de calidad. Sin embargo, están dispuestos a vender carne legal de *C. paca*, *P. tajacu*, *T. pecari* y *Mazama* spp. El precio de compra que proponen estos centros es de 20 soles/kg (5 USD).

Ventajas y oportunidades

La venta de carne silvestre es una actividad económica que realizan comunidades rurales amazónicas que no suelen tener mayor oportunidad de ingresos económicos. La legalización de este comercio podría mejorar la economía de estos pueblos. Actualmente, el negocio de carne silvestre en Iquitos mueve 2,591.591 USD anuales (Mayor et al., 2021), lo que representa el 0,03 % del PBI (Producto Bruto Interno) del 2020 de Loreto (2.014,633.000 USD) según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2020). Asimismo, el hecho de que la carne silvestre como fuente proteica tenga una demanda real en muchas ciudades amazónicas, es una gran oportunidad para su legalización debido a que ya tiene una gran aceptación en todos los estratos sociales. La mayoría de ciudadanos la consume por aprendizaje familiar o cultural.

La carne silvestre es una carne magra o con poca grasa que no pasa del 4 %, a diferencia de las demás carnes de animales domésticos que tienen más cantidad de grasa (entre 10 y 20 %), en especial las carnes de pavo, res y borrego (Del Angel-Meza et al., 2013). El pollo, que es la fuente proteica más dominante en Iquitos, tiene mayor cantidad de grasa y menor cantidad de hierro, calcio, sodio y potasio que la carne silvestre (Arenas et al., 2000); por ello, se afirma que esta última es más saludable que la de pollo. La carne silvestre, al tener

escasa carga bacteriana, poca grasa y más hierro, y al depender de la presencia del bosque amazónico y ayudar a la economía al cazador amazónico, es uno de los productos con mayor beneficio nutritivo, social y ecológico.

La producción de carne silvestre ayuda a la conservación de especies amenazadas de fauna silvestre, como los grandes primates. En la cuenca del río Pucacuro, el manejo de animales de caza logró la recuperación de los primates más amenazados. Antes de la creación del área protegida, las especies de primates *Lagothrix l. poeppigii*, *Ateles belzebuth*, *Alouata seniculus*, *Sapajus macrocephalus* y *Cebus yuracus* tenían densidades de 10,0 ind/km², 0,8 ind/km², 2,1 ind/km², 2,8 ind/km² y 4,4 ind/km², respectivamente (Aquino et al., 2000). Después de la implementación de los planes manejo, que permite la cacería de pecaríes y *C. paca*, pero restringe la caza de primates, las densidades de *L. l. poeppigii*, *A. belzebuth*, *A. seniculus*, *S. macrocephalus*, *C. yuracus* fueron de 31,25 ind/km², 3,62 ind/km², 1,23 ind/km², 7,58 ind/km² y 3,07 ind/km², respectivamente (Pérez-Peña et al., 2016b). Las especies categorizadas como amenazadas, *A. belzebuth* y *L. l. poeppigii*, se recuperaron e incrementaron su densidad poblacional de manera evidente.

La especie *L. l. lagotricha* puede dispersar semillas hasta 1540 m, de entre 109 y 112 especies de plantas, hecho que contribuye a su regeneración natural (Rimachi-Taricuarima et al., 2019; Fuzessy et al., 2017), mientras que *A. belzebuth* puede dispersar hasta 1281 m de al menos 41 especies (Fuzessy et al.,

2017). Esto quiere decir que las especies de primates grandes son excelentes dispersores de semillas de una gran diversidad de plantas. Por ello, su mantenimiento es vital para la conservación del ecosistema amazónico, y esto se puede lograr mediante el uso sostenible de las especies de caza.

Desventajas y retos

Una de las principales desventajas de la comercialización legal de la carne silvestre es la inaccesibilidad de la mayoría de comunidades a un plan de manejo, debido a su alto costo y su contenido tecnificado. Únicamente las comunidades que cuentan con el acompañamiento de alguna ONG pueden lograrlo. Ninguna comunidad amazónica tiene la capacidad financiera de pagarle a un profesional para que elabore su plan de manejo de animales de caza. Esto impide que puedan comercializar su carne de monte legalmente, y así quedan por fuera del marco legal impuesto por el Estado para buscar otros mercados y obtener mejores ganancias económicas. Además, de esta forma, su producto es infravalorado y se vende a bajo precio. Este ciclo obliga a los cazadores a extraer más cantidad de animales para tener algo de ganancia. En conclusión, es muy difícil cumplir con todas las exigencias que impone el Estado a las comunidades rurales para que lleven a cabo un comercio legal de carne de monte debido a los gastos elevados que esta formalización implica.

Es importante mencionar que la Ley N° 27037 sobre la promoción de la inversión en la Amazonía peruana, en su artículo 12.3, indica que “los contribuyentes de la Amazonía que desarrollen principalmente actividades agrarias y/o de transformación o procesamiento de los productos calificados como cultivo nativo y/o alternativo en dicho ámbito, estarán exoneradas del Impuesto a la Renta”. Es primordial que en este artículo se adicione que los pobladores que usen sosteniblemente la fauna silvestre también deben de ser exonerados del impuesto a la renta. Esto fomentaría el uso sostenible de animales de caza en el marco de la ley.

El reto más grande consiste en tener un plan de manejo que sea sencillo de elaborar, que esté enfocado en la información esencial y que contemple sistemas de monitoreo y de control que los propios pobladores rurales puedan implementar. Por ejemplo, si para diseñar el plan de manejo se requiere información de la abundancia de los animales que se van a aprovechar, esta se puede coleccionar con base en métodos que consideren el conocimiento tradicional, y no necesariamente con métodos académicos que requieren mucho recurso humano y financiero. De forma similar, hay que generar alternativas en cuanto al resto de información requerida, como la zonificación del área en lugares de caza y no-caza, las cuotas de aprovechamiento, el lugar de comercialización, la forma de financiamiento de la actividad y los beneficiarios. Esta información puede reducirse considerablemente, lo cual acarrea la simplificación del plan de manejo, sin tener que renunciar al control de las variables fundamentales que

permitan probar su sostenibilidad. De esta forma, los mismos pobladores podrían completar un formato sencillo de solicitud en el que incluyan la información, que luego sería evaluada por la institución correspondiente.

Después de recibir la solicitud de la voluntad de comercializar carne de monte, la institución responsable puede realizar entrevistas de conocimiento tradicional en la comunidad. En ellas cada poblador indicaría su percepción sobre la abundancia de las especies que proponen aprovechar. Si la respuesta de los pobladores es similar entre ellos (>70 % de coincidencia en sus respuestas), entonces se considera que es una respuesta válida. Asimismo, se deben entregar formatos de registros de caza para que los pobladores de la comunidad anoten la forma en que aprovechan la fauna diariamente, durante un período de al menos 6 meses. Este método permite conocer cómo se utiliza el recurso y sirve también para evaluar las propuestas de cuotas de aprovechamiento. Ambas informaciones, la percepción de la abundancia de los animales y los registros de caza, son indicadores de la abundancia o del estado actual de la fauna silvestre.

La autoridad competente también podría entregarles a los cazadores un mapa de su territorio y áreas aledañas, que incluya la elevación del terreno y los cuerpos de agua, para facilitar el proceso de zonificación. Así, los pobladores de la comunidad solicitante podrían encerrar en un polígono las áreas de caza y no-caza, y los tipos de bosques que se encuentran dentro de estas jurisdicciones. Esta información permite

conocer el espacio que utilizan y saber si es congruente con la magnitud de fauna aprovechada; asimismo, ayuda a evaluar la presión de caza.

La evaluación de la sostenibilidad de la caza se puede realizar mediante el monitoreo anual del conocimiento tradicional y los registros de caza (CPUE). Si ambos métodos muestran una tendencia estable o de incremento, el uso es considerado sostenible y sin afectación a las poblaciones silvestres.

Finalmente, para cerrar el círculo de negocio es importante conocer la forma de financiamiento y quiénes comprarían la carne de monte. Diferentes instituciones pueden apoyar esta actividad mediante la realización de entrevistas para conocer los patrones de la oferta y la demanda, y la forma de comercialización. La implementación de este proceso, en global, implicaría un paso hacia la legalidad del comercio de carne de monte y mejoraría la participación de los actores interesados en conservar este recurso que provee numerosos beneficios. Quizá el aspecto más relevante de esta propuesta es la toma de decisiones con base en el conocimiento tradicional. Asimismo, con esta metodología, las comunidades nativas se sentirían valoradas y tomadas en cuenta en la implementación de las estrategias de conservación de los animales de caza no solo a nivel local, sino también a nivel regional.

Un reto no menos importante es lograr el monitoreo sanitario de la carne silvestre en los principales mercados, paso trascendental para prevenir las posibles enfermedades zoonóticas que tienen los

animales silvestres. Esto requiere primero que se legalice la carne silvestre de acuerdo con los criterios de sostenibilidad. La participación de las instituciones que realicen estos estudios es crucial para cumplir este reto.

Conclusiones

El proceso de usar sosteniblemente los animales de caza con fines comerciales requiere información social de las comunidades interesadas, de las características del territorio donde se va a manejar, del aprovechamiento y la abundancia de las especies a manejar, así como información microbiológica y bromatológica de la carne, e información sobre la cadena de mercado. Es decir, es necesaria la integración de muchos actores para que esta actividad sea legal y beneficiosa para las comunidades rurales y la conservación de la fauna de caza.

La legalización del comercio de carne silvestre puede ayudar enormemente a la economía de los pueblos rurales y a mejorar las condiciones sanitarias de esta carne que, aunque invisible, es muy consumida en las grandes ciudades amazónicas. Asimismo, aunque suene contradictorio, ayuda a conservar las especies aprovechadas, porque solo con una caza ordenada se puede mitigar la sobrecaza.

Aún existe un reto fundamental para lograr la legalización: que la mayoría de las comunidades amazónicas pueda acceder al plan

de manejo. Este reto es viable si se reducen los costos de elaboración, si se valora el conocimiento tradicional como insumo en los estudios de estimación de abundancia de la fauna y si los trámites formales se adaptan a las comunidades nativas.

Agradecimientos

Este documento ha sido financiado en parte por la Gordon and Betty Moore Foundation, a través del proyecto GBMF9258 ejecutado por la Fundación Natura.

Este proceso para lograr la sostenibilidad y la comercialización legal de la carne se construyó pieza por pieza como un rompecabezas durante varios años. Muchas gracias a las comunidades nativas Kichwa, Secoya, Murui Muinani, Yagua, Shipiba y Ese Eja, por permitirme estudiar los animales de caza en sus territorios y compartir sus conocimientos tradicionales. La información en las diferentes etapas del proceso fue obtenida gracias al financiamiento de muchas instituciones: Yavarí Conservación y Uso Sostenible (YAVACUS), la Reserva Nacional Pucacuro, el Parque Nacional Sierra del Divisor¹, el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), la Dirección de Diversidad Biológica del Ministerio del Ambiente del Perú, el Banco Mundial y FONDECYT, del Consejo Nacional de Ciencia

y Tecnología del Perú (CONCYTEC), a través del proyecto N° 136-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV y el Organismo de Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA).

Agradecimientos especiales por su invaluable esfuerzo a María Riveros Montalván, Claudia Ramos Rodríguez, Natalia Angulo Pérez, Pedro Mayor, Mark Bowler, Richard Bodmer, Pablo Puertas, Miguel Antúnez, Lourdes Ruck, Gloria Rojas, Carlo Tapia del Aguila, Claudio Bardales Alvítez, Yuri Beraún, Gabriel Vargas, Jessy Vásquez, Jhancy Segura Tamayo, León Torres Oyarce, María Elena Díaz, Rolando Aquino, Daniel Montes, Mariana Torres y Kember Mejía. También a dos amigos queridos que dejaron este mundo: Christian Gonzales Tanchiva y Marcial Trigoso Pinedo. Muchas gracias a todos.

¹ La Reserva Nacional Pucacuro y el Parque Nacional Sierra del Divisor hacen parte del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado.

Referencias

- Aguirre, A. A., Catherina, R., Frye, H. & Shelley, L. (2020). Illicit wildlife trade, wet markets, and COVID-19: preventing future pandemics. *World Medical & Health Policy*, 12(3), 256-265. <https://doi.org/10.1002/wmh3.348>
- Almeida C. A. D., Coutinho A. C., Esquerdo J. C. D. M., Adami M., Venturieri A., Diniz C. G., Dessay N., Duieux L. & Gomes, A. R. (2016). High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, 46(3), 291-302. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201505504>
- Aquino, R., Bodmer, R. E. & Pezo, E. (2000). Evaluación de primates en la cuenca del río Pucacuro, Amazonía peruana. *La Primatología en el Perú*, 2, 92-100.
- Aquino R., Gil D. & Pezo E. (2009). Aspectos ecológicos y sostenibilidad de la caza del majás (*Cuniculus paca*) en la cuenca del río Itaya, Amazonía peruana. *Revista Peruana de Biología*, 16(1), 67-72.
- Arenas, L., Vidal, A., Huerta-Sánchez, D., Navas, Y., Uzcátegui-Bracho, S. & Huerta-Leidenz, N. (2000). Análisis comparativo proximal y de minerales entre carnes de iguana, pollo y res. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(4), 409-415.
- Beck-King, H., Helversen, O. V. & Beck-King, R. (1999). Home Range, Population Density, and Food Resources of *Agouti paca* (Rodentia: Agoutidae) in Costa Rica: A Study Using Alternative Methods. *Biotropica*, 31(4), 675-685. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1999.tb00417.x>
- Benítez-López, A., Santini, L., Schipper, A. M., Busana, M. & Huijbregts, M. A. (2019). Intact but empty forests? Patterns of hunting-induced mammal defaunation in the tropics. *PLoS biology*, 17(5), e3000247. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000247>
- Bodmer, R., Eisenberg, J. & Redford, K. (1997). Hunting and the likelihood of extinction of Amazonian mammals. *Conservation Biology*, 11(2), 460-466. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.96022.x>
- Bodmer, R. & Robinson, J. (2004). Evaluating the Sustainability of Hunting in the Neotropics. En: K. Silvius, R. E. Bodmer & J. M. V. Fragoso. (Eds.) *People in Nature. Wildlife conservation in south and central America*. (pp. 199-323). Columbia University Press.
- Booth, H., Clark, M., Milner-Gulland, E. J., Amponsah-Mensah, K., Antunes, A. P., Brittain, S., Castilho, L. C., Campos-Silva, J. V., Constantino, P. A. L., Li, Y., Mandoloma, L., Nneji, L. M., Midokolponga, D., Moyo, B., McNamara, J., Rakotonarivo, O. S., Shi, J., Tagne, C. T. K., Velden J. & Williams, D. R. (2021). Investigating the risks of removing wild meat from global food systems. *Current Biology*, 31(8), 1788-1797. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.01.079>
- Borgatti, S. P., Everett, M. G. & Freeman, L. C. (2002). *Ucinet for Windows: Software for social network analysis*. Analytic Technologie, Harvard, MA.
- Bowler, M. T., Tobler, M. W., Endress, B. A., Gilmore, M. P. & Anderson, M. J. (2017). Estimating mammalian species richness and occupancy in tropical forest canopies with arboreal camera traps. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 3(3), 146-157. <https://doi.org/10.1002/rse2.35>

- Braga-Pereira, F., Morcatty, T. Q., El Bizri, H. R., Tavares, A. S., Mere-Roncal, C., González-Crespo, C., Bertsch, C., Ramos Rodríguez, C., Bardales-Alvites, C., von Mühlen, E. M., Bernárdez-Rodríguez, G. F., Pozzan Paim, F., Segura Tamayo, J., Valsecchi, J., Gonçalves, J., Torres-Oyarce, L., Pereira Lemos, L., de Mattos Vieira, M. A. R., Bowler, M.,...Mayor, P. (2021). Congruence of local ecological knowledge (LEK)-based methods and line-transect surveys in estimating wildlife abundance in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*. Online version. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13773>
- Brodie, J. F. & Gibbs, H. K. (2009). Bushmeat hunting as climate threat. *Science*, 326(5951), 364-365. https://doi.org/10.1126/science.326_364b
- Buckland, S. T., Anderson, D., Burnham, K. & Laake, J. (1993). *Distance sampling: Estimating the abundance of biological populations*. Chapman & Hall, London.
- Buckland, S. T., Plumptre, A. J., Thomas, L. & Rexstad, E. A. (2010). Design and analysis of line transect surveys for primates. *International Journal of Primatology*, 31(5), 833-847. <https://doi.org/10.1007/s10764-010-9431-5>
- Burnham, K., Anderson, D. & Laake, J. (1980). Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildlife Monographs*, 72, 3-202.
- Carbone, C., Christie, S., Conforti, K., Coulson, T., Franklin, N., Ginsberg, J. R., Griffiths, M., Holden, J., Kawanishi, K., Kinnaird, M., Laidlaw, R., Lynam, A., MacDonald, D. W., Martyr, D., McDougal, C., Nath, L., O'Brien, T., Seidensticker, J., Smith, D. J. L.,...Wan Shahrudin, W. N. (2001). The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals. *Animal Conservation*, 4(1), 75-79. <https://doi.org/10.1017/S1367943001001081>
- Carbone, C., Christie, S., Conforti, K., Coulson, T., Franklin, N., Ginsberg, J. R., Griffiths, M., Holden, J., Kinnaird, M., Laidlaw, R., Lynam, A., MacDonald, D. W., Martyr, D., McDougal, C., Nath, L., O'Brien, T., Seidensticker, J., Smith, J. L. D., Tilson, R. & Wan Shahrudin, W. N. (2002). The use of photographic rates to estimate densities of cryptic mammals: response to Jennelle et al. *Animal Conservation*, 5(2), 121-123. <https://doi.org/10.1017/S1367943002002172>
- Cooney, R., Roe, D., Dublin, H., Phelps, J., Wilkie, D., Keane, A., Travers, H., Skinner, D., Challender, D. W. S., Allan, J. R. & Biggs, D. (2017). From poachers to protectors: engaging local communities in solutions to illegal wildlife trade. *Conservation Letters*, 10(3), 367-374. <https://doi.org/10.1111/conl.12294>
- Del Angel-Meza, A. R., Interián-Gomez, L. & Esparza-Merino, R. M. (2013). *Principios básicos de bromatología para estudiantes de nutrición*. Editorial Palibrio.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Munekata, P. E. S., Gagaoua, M., Barba, F. J. & Lorenzo, J. M. (2019). Exotic Meats: An Alternative Food Source. En J. M. Lorenzo, P. E. S. Munekata, F. J., Barba & F. Toldra (Eds.). *More than Beef, Pork and Chicken – The Production, Processing, and Quality Traits of Other Sources of Meat for Human Diet* (pp. 385-408). Springer Nature Switzerland.
- Fang, T., Bodmer R. E., Puertas, P., Mayor, P., Pérez-Peña, P. E., Acero, R. & Haymann, D. (2008). *Certificación de pieles de pecaríes en la Amazonía peruana: Una estrategia para la Conservación y Manejo de Fauna en la Amazonía Peruana*. Wust Ediciones. Lima, Perú.

- Fragoso, J. M., Levi, T., Oliveira, L. F., Luzar, J. B., Overman, H., Read, J. M. & Silviu, K. M. (2016). Line transect surveys underdetect terrestrial mammals: implications for the sustainability of subsistence hunting. *PLoS One*, 11(4), e0152659. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152659>
- Fuzessy, L. F., Janson, C. H. & Silveira, F. A. (2017). How far do Neotropical primates disperse seeds? *American Journal of Primatology*, 79(7), e22659. <https://doi.org/10.1002/ajp.22659>
- Gómez, B., Montenegro, O. & Sánchez-Palomino, P. (2016). Abundance variation of ungulates in two protected areas of the Colombian Guayana estimated with occupancy models. *Therya*, 7(1), 89-106. <https://doi.org/10.12933/therya-16-342>
- Hewson, M. G. (2015). *Embracing Indigenous Knowledge in Science and Medical Teaching. Cultural Studies of Science Education*. Volume 10. Springer. Dordrecht, Holanda.
- Higgins, M. A., Ruokolainen, K., Tuomisto, H., Llerena, N., Cárdenas, G., Phillips, O. L., Vásquez, R. & Räsänen, M. (2011). Geological control of floristic composition in Amazonian forests. *Journal of biogeography*, 38(11), 2136-2149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02585.x>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). Producto Bruto Interno por departamentos en Perú. <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/producto-bruto-interno-por-departamentos-9089/>
- Jennelle, C. S., Runge, M. C., & MacKenzie, D. I. (2002). The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals: a comment on misleading conclusions. *Animal Conservation*, 5(2), 119-120.
- Matias, D. M. S., Pinto, E. F., Ramnath, M. & San Jose, D. (2021). Local communities and wildlife consumption bans. *Nature Sustainability*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00662-7>
- Mayor, P., Bizri H. E., Bodmer, R. & Bowler, M. (2017). Assessment of mammal reproduction for hunting sustainability through community-based sampling of species in the wild. *Conservation biology*, 31(4), 912-923. <https://doi.org/10.1111/cobi.12870>
- Mayor, P., Bodmer, R. E. & Lopez-Bejar, M. (2010). Reproductive performance of the wild white-lipped peccary (*Tayassu pecari*) female in the Peruvian Amazon. *European Journal Wildlife Research*, 55, 631-634. <https://doi.org/10.1007/s10344-009-0312-1>
- Mayor, P., López-Gatius, F. & López-Béjar, M. (2005). Integrating ultrasonography within the reproductive management of the collared peccary (*Tayassu tajacu*). *Theriogenology*, 63(7), 1832-1843. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.08.007>
- Meredith, M. (2008). Estimating population size with line transect and DISTANCE. En J. P. Gibbs, M. L. Hunter & E. J. Sterling. (Eds). *Problem-Solving in Conservation Biology and Wildlife Management* (pp. 88-104). Blackwell Publishing.
- Mishra, J., Mishra, P. & Arora, N. K. (2021). Linkages between environmental issues and zoonotic diseases: with reference to COVID-19 pandemic. *Environmental Sustainability*, 4, 455-467. <https://doi.org/10.1007/s42398-021-00165-x>
- Moya, K. E. (2011). *Monitoreo de la comercialización de carne de monte en los mercados de Iquitos y estrategias para su conservación* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana].

- Müller-Hansen, F., Heitzig, J., Donges, J. F., Cardoso, M. F., Dalla-Nora, E. L., Andrade, P., Kurths, J. & Thonicke, K. (2019). Can Intensification of Cattle Ranching Reduce Deforestation in the Amazon? Insights From an Agent-based Social-Ecological Model. *Ecological Economics*, 159, 198-211. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.025>
- Orta-Martínez, M, Rosell-Melé, A., Cartró-Sabaté, M., O'Callaghan-Gordo, C., Moraleda-Cibrián, N. & Mayor, P. (2018). First evidences of Amazonian wildlife feeding on petroleum-contaminated soils: A new exposure route to petrogenic compounds? *Environmental Research*, 160, 514-517. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.009>
- Ostrom, E. (2009) A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419-422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Peres, C. A. & Cunha, A. A. (2011). *Manual para censo e monitoramento de vertebrados de médio e grande porte por transecção linear em florestas tropicais*. Wildlife Technical Series, Wildlife Conservation Society, Brasil.
- Pérez-Peña, P. E., Aguinda, S., Riveros, M. S., Ruck, L. & Gonzales-Tanchiva, C. (2016b). Distribución y abundancia del supay pichico *Callimico goeldii* (Thomas, 1904) en la Reserva Nacional Pucacuro, al norte de la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 25(2), 167-177. <https://doi.org/10.24841/fa.v25i2.401>
- Pérez-Peña, P., Bardales-Alvites, C., Ramos-Rodríguez, M., Alcántara-Vásquez, O., Acho-Zevallos, G. & Lavajos, L. (2019). Mamíferos. En P. Pérez-Peña, M. Ramos-Rodríguez, J. Díaz Alván, R. Zárate Gómez & K. Mejía Carhuana (Eds.). *Biodiversidad en las cuencas del Napo y Curaray, Perú* (pp. 128-151). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú.
- Pérez-Peña, P. E., Gonzales-Tanchiva, C. & Trigos-Pinedo, M. (2016a). Evaluación del Plan de Manejo de animales de caza en la Reserva Nacional Pucacuro. *Folia Amazónica*, 25(1), 1-16. <https://doi.org/10.24841/fa.v25i1.377>
- Pérez-Peña, P. E., Ramos-Rodríguez, M. C., Angulo-Pérez, N., Caballero-Dulce, Y., Del Aguila-Cachique, H. & Montalván, M. S. R. (2021). Sostenibilidad de la caza de mamíferos en tres territorios indígenas de la cuenca alta del Putumayo, Nororiente de la Amazonía peruana. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 9(1), 83-96. <https://doi.org/10.22386/ca.v9i1.322>
- Pérez-Peña, P. E., Ruck L., Riveros, M. S. & Rojas, G. (2012). Evaluación del conocimiento indígena Kichwa como herramienta de monitoreo en la abundancia de animales de caza. *Folia Amazónica*, 21(1-2), 115-127. <https://doi.org/10.24841/fa.v21i1-2.40>
- Puertas, P. E., Pinedo, A., Soplín, S., Antúnez, M., López, L., Caro, J., Chicaje, L., Panduro, R., Vásquez, R. & Flores, J. L. (2017). Evaluación poblacional y uso sostenible de animales de caza por comunidades indígenas en el área de conservación regional Ampiyacu Apayacu, noreste de la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 26(1), 37-50. <https://doi.org/10.24841/fa.v26i1.417>
- Ramos-Rodríguez, M., Pérez-Peña, P., Flores, G. & Ortiz, A. (2019) Mamíferos. En P. Pérez-Peña, M. Ramos-Rodríguez, J. Díaz Alván, R. Zárate Gómez & K. Mejía Carhuana (Eds.). *Biodiversidad en las cuencas del Napo y Curaray, Perú* (pp. 125 - 145). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú.
- Redford, K. H. (1992). The empty forest. *BioScience*, 42(6), 412-422. <https://doi.org/10.2307/1311860>

- Rimachi-Taricuarima, M. N., Pérez-Gardini, J. J., Tirado-Herrera, E. R., Zárate-Gómez, R. & Mozombite-Pinto, L. F. (2019). Plantas consumidas por *Lagothrix lagotricha lagotricha* Humboldt, 1812 en la Amazonía peruana. *Ciencia Amazónica* (Iquitos), 7(1), 93-110. <https://doi.org/10.22386/ca.v7i1.267>
- Roe, D. & Lee, T. M. (2021). Possible negative consequences of a wildlife trade ban. *Nature Sustainability*, 4(1), 5-6. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00676-1>
- Rovero, F. & Marshall, A. R. (2009). Camera trapping photographic rate as an index of density in forest ungulates. *Journal of Applied Ecology*, 46(5), 1011-1017. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01705.x>
- Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Bishop, J. R. B., Marques, T. A. & Burnham, K. P. (2010). Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*, 47, 5-14. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x
- Tobler, M. W., Carrillo-Percestequi, S. E., Pitman, R. L., Mares, R. & Powell, G. (2008). An evaluation of camera traps for inventorying large-and medium-sized terrestrial rainforest mammals. *Animal Conservation*, 11(3), 169-178. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2008.00169.x>
- Van Holt, T., Townsend, W. R. & Cronkleton, P. (2010). Assessing local knowledge of game abundance and persistence of hunting livelihoods in the Bolivian Amazon using consensus analysis. *Human Ecology*, 38, 791-801. <https://doi.org/10.1007/s10745-010-9354-y>
- Vollan, B. & Ostrom, E. (2010). Cooperation and the commons. *Science*, 330(6006), 923-924. <https://doi.org/10.1126/science.1198349>
- Weller, S. C. (2007). Cultural consensus theory: applications and frequently asked questions. *Field Methods*, 19 (4), 339-368. <https://doi.org/10.1177/1525822X07303502>
- Xie, X., Huang, L., Li, J. J. & Zhu, H. (2020). Generational differences in perceptions of food health/risk and attitudes toward organic food and game meat: The case of the COVID-19 crisis in China. *International journal of environmental research and public health*, 17(9), 3148. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093148>
- Yang, N., Liu, P., Li, W. & Zhang, L. (2020). Permanently ban wildlife consumption. *Science*, 367(6485), 1434. <https://doi.org/10.1126/science.abb1938>

