MANUAL DE FOTOTRAMPEO PARA ESTUDIO DE FAUNA SILVESTRE

EL JAGUAR EN MÉXICO COMO ESTUDIO DE CASO

Cuauhtémoc Chávez, Antonio de la Torre,
Horacio Bárcenas, Rodrigo A. Medellín,
Heliot Zarza, Gerardo Ceballos

MANUAL DE FOTOTRAMPEO PARA ESTUDIO DE FAUNA SILVESTRE

EL JAGUAR EN MÉXICO COMO ESTUDIO DE CASO

FUNDACIÓN Carlos Slim

Alianza WWF telcel

COMISION NACIONAL DE AREAS NATURALES PROTEGIDAS

SERVICIOS ECOLÓGICOS Y CIENTÍFICOS

MANUAL DE FOTOTRAMPEO PARA ESTUDIO DE FAUNA SILVESTRE

EL JAGUAR EN MÉXICO COMO ESTUDIO DE CASO

Cuauhtémoc Chávez, Antonio de la Torre,
Horacio Bárcenas, Rodrigo A. Medellín,
Heliot Zarza, Gerardo Ceballos

Coordinación
Gerardo Ceballos y Heliot Zarza

Diseño y producción editorial
Rosalba Becerra

Revisión de textos
Xitlali Aguirre Dugua

Fotografía de portada
Gerardo Ceballos

DR © 2013 Gerardo Ceballos y Heliot Zarza

Primera edición, 2013
Esta edición fue patrocinada por:
Alianza WWF-Telcel
Fundación Carlos Slim
Universidad Nacional Autónoma de México
Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
Servicios Ecológicos y Científicos, S.A. de C.V.

ISBN: 978-607-8143-02-3

Forma sugerida de citar:
Chávez, C., A de la Torre, H. Bárcenas, R.A. Medellín, H. Zarza y G. Ceballos. 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, México.

México, 2013

Agradecimientos

El desarrollo de la presente obra es resultado de un largo proceso de aprendizaje en campo de nuestros colegas, estudiantes y amigos quienes han usado el fototrampeo como técnica de muestreo. Gracias a sus esfuerzos hemos aprendido de este tema y nos percatamos de la necesidad de una obra de este tipo. A ellos nuestro más sincero y profundo agradecimiento. Sin su apoyo, ideas y experiencia no hubieramos podido culminar de manera satisfactoria este libro. En especial agradecemos a Carlos Alcerreca, Alfonso Aquino, Sergio Ávila, Gerardo Carreón, Arturo Caso, Epigmenio Cruz, Juan Carlos Faller, Osiris Gaona, Marco Lazcano, Iván Lira, Leonardo Maffei, Rogelio Manríquez, Jonathan Job Morales, Pablo Navarro, Rodrigo Núñez, Patricia Oropeza, Jesús Pacheco, Erik Ramírez-Bravo, Francisco Remolina, Fernando Ruíz, Erik Saracho, Octavio Rosas, Yamel Rubio, Scott Silver y Diego Woolrich.

A Héctor Slim, por su sensibilidad e interés en la conservación del jaguar, con lo que empezó la fructífera relación de trabajo que hemos tenido durante casi 10 años con Telmex y la Alianza WWF-Telcel. A Daniel Hajj, Marcela Velasco, Graciela Chacón y Sergio Pathger por su apoyo constante en esta larga relacion con Telcel y Telmex. A Omar Vidal y Jatziri Pérez del WWF México, que con su alianza estrategica con Telcel han apoyado el proyecto de manera sostenida. A Luis Fueyo y Oscar Ramírez de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas por su apoyo y facilidades prestadas, sin las cuales este proyecto no hubiera sido posible. A la Alianza WWF-Telcel, Comision Nacional de Areas Protegidas, Telmex, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ecociencia (Servicios Cientificos y Ecologicos), Dirección General de Personal Académico (DGAPA) y Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México,Whitley Fund for Nature, Rufford Small Grants for Nature Conservation, Busch Gardens and Sea World Conservation Fund, Safari Club International, Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología y Bioconciencia por su apoyo económico para llevar a cabo nuestros estudios sobre la ecología y conservación del jaguar.

Finalmente, nuestro especial agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, Alianza WWF-Telcel, Fundación Carlos Slim y Servicios Ecológicos y Científicos S.A. de C.V. por su apoyo para la producción e impresión de esta obra.

Contenido

Prólogo 9

Presentación 11

Introducción 13

I. Tipos de muestreo enfocado en mamíferos silvestres grandes y medianos 17

II. Elementos básicos para el manejo de trampas-cámara 29

III. Diseño de muestreo 45

IV. Estudio de caso: el Censo Nacional del Jaguar y sus Presas 55

V. Bases de datos y ordenamiento de las fotografías 71

VI. Análisis de datos 77

VII. Consideraciones finales 83

Apéndice 1 85

Apéndice 2 89

Apéndice 3 91

Glosario 93

Literatura citada 97

Prólogo

En 1988, como becario de la Universidad de Florida, compartí cursos con un grupo selecto de alumnos de Asia y América Latina, entre ellos se encontraba Ullas Karanth, estudiante hindú, quien entonces se preparaba para atender la difícil y compleja tarea de conservar al felino más grande del planeta, el tigre de bengala (*Panthera tigris*). El gran reto para Ullas consistía en determinar el número de tigres que quedaban en estado silvestre en las selvas de India. Siete años después, Ullas empezaba a responder esta pregunta, instalando cámaras fotográficas sensibles al movimiento y calor, con las cuales "captura" a los tigres presentes en las selvas, identificando a cada individuo, por el distintivo patrón de las rayas del cuerpo (Karanth, 1995). Esta valiosa contribución, marcó el inicio formal de la aplicación del foto trampeo de manera sistemática para estudios con grandes felinos y mamíferos terrestres a nivel mundial.

En México, a principios del nuevo milenio, el liderazgo en la aplicación de esta herramienta es encabezado por dos grupos de investigación adscritos al Instituto de Ecología de la UNAM, Gerardo Ceballos, Cuauhtémoc Chavez y Heliot Zarza, del Laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre, y Rodrigo A. Medellín, Antonio de la Torre y Horacio Bárcenas del Laboratorio de Ecología y Conservación de Vertebrados Terrestres. Hoy estos seis investigadores nos comparten este manual, resultado de la experiencia acumulada a lo largo de diez años de aplicación del fototrampeo en la mayor parte de los ecosistemas terrestres de México, incluyendo los bosques templados, las selvas tropicales (perennifolia, subcaducifolia y caducifolia), los manglares, los pastizales y el matorral xerófilo; abarcando el desarrollo de inventarios de fauna, mitigaciones de impacto ambiental, estudios de ecología y estimaciones poblacionales de diversas especies, en especial del jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Puma concolor*), el lince (*Lynx rufus*), el ocelote (*Leopardus pardalis*) y otros mamíferos medianos.

En siete robustos y prácticos capítulos, el manual integra, todo lo que siempre quisieron saber sobre el fototrampeo, pero habían temido preguntar, incluyendo una guía

práctica a los diversos tipos de muestreo utilizados para mamíferos terrestres, cómo utilizar los equipos de foto trampeo, cómo seleccionar el diseño de muestreo más adecuado a las características del estudio que se pretende realizar, cuál es la información requerida para la correcta integración de las bases de datos, cuáles son los métodos para el análisis de la información generada, y un excelente caso de estudio, el diseño de muestreo del Censo Nacional del Jaguar y sus presas.

Al igual que la aportación de Ullas Karanth, los autores, al compartirnos con bases sólidas la correcta aplicación de esta poderosa herramienta, abren una nueva etapa para la investigación biológica en México, la cual contribuirá de manera significativa al conocimiento, el manejo y la conservación de nuestra fauna silvestre.

Marco A. Lazcano-Barrero
Director General Reserva Ecológica El Edén A.C.
Cancún, Quintana Roo, enero de 2013

Presentación

El reto del estudio de los mamíferos silvestres

Hace ya muchos años, en 1973, cuando era un adolescente, tuve la fortuna de visitar el profundo cañón que recorre el río Guayalejo cuando cruza la Sierra Madre Oriental, entre los poblados de Jaumave y Llera, en Tamaulipas. Fue mi primera experiencia en una región verdaderamente agreste, con mucha fauna silvestre. En el cañón la fauna y flora era netamente tropicales, pero en lo alto de la sierra, a una elevación de 1000 metros, era de afinidades templadas. Allí tuve la oportunidad de ver un cocodrilo, que aún no se qué especie era pues no existen registros publicados de esa región, pecaríes de collar, venados, pericos y muchas otras especies interesantes. En la parte alta de la sierra abundaban los osos negros. Un día me llamó mucho la atención que en una de las cañadas que bajaban de las laderas de la montaña, vi en un encino a varios guajolotes silvestres (*Meleagris gallopavo*) y un hocofaisan (*Crax rubra*), que son especies de ambientes muy diferentes, por lo que me pareció extrañísimo verlas en el mismo sitio.

Recuerdo que para llegar al campamento, localizado a más de 20 kilómetros de la ranchería más cercana, cruzamos en los caballos numerosas veces el caudaloso río Guayalejo, uno de los más hermosos que he visto en mi vida. Enormes paredes rocosas limitaban en muchas partes el cañón, que en muchos sitios solo se podía visitar por un sendero angosto, apenas lo suficientemente ancho para dejar el paso de un caballo. En las noches escuchábamos los rugidos de un jaguar, que los guías locales me decían estaba lejos, en el otro lado del río. Dormíamos cerca del fuego, y yo siempre pensaba antes de caer rendido por el sueño, en lo increíble que sería ver a ese jaguar. Después de varios días de recorrido emprendimos el regreso, una clara tarde de verano. En el camino mi caballo se quedo rezagado y perdí a los demás miembros del grupo. Dado que debíamos cruzar el río, que en algunos sitios era muy profundo y caudaloso, decidí soltar la rienda y dejarlo seguir el camino que el conocía. Así, el caballo y yo cruzamos sin problema numerosas veces el río. Ya casi al final del recorrido, se inquietó mucho y se rehusó a seguir el camino. Yo no entendía lo que estaba pasando. En cierto momento, escuche ruidos en lo alto del risco, tal vez a unos 150 metros de alto, y grande fue mi sorpresa de observar una hembra de jaguar con dos jaguares jóvenes, que nos observaban atentamente. Me quede fascinado observándolos por varios minutos, hasta que desaparecieron entre las rocas.

Muchos años habrían de pasar antes de que pudiera volver a ver un jaguar, en las selvas de Calakmul en los limites de Campeche y Quintana Roo. De hecho, al igual que

mis coautores de este manual, Cuauhtémoc Chávez, Rodrigo A. Medellín, Horacio Bárcena, Antonio de la Torre y Heliot Zarza, he pasado la mayor parte de mi vida profesional estudiando mamíferos, pero rara vez con la oportunidad de observar un jaguar en su medio natural. Hasta finales de la década de 1990, el trabajo con muchos de los mamíferos de talla mediana o grande, era meramente anecdótico. Pocas eran las posibilidades de observarlos de manera directa, en especial a los carnívoros de hábitos nocturnos. Sin embargo, el desarrollo de tecnologías como los visores de visión nocturna, los collares de radiotelémetro y las cámaras-trampa automáticas han permitido desarrollar estudios antes inimaginables. Las cámaras-trampa automáticas, que se disparan con sensores de temperatura o movimiento, han permitido llevar a cabo estudios muy completos de un número creciente de especies. Esta tecnología ha sido de enorme utilidad para generar información cuantitativa sobre la biología, ecología y conservación de numerosas especies como el jaguar. En la última década se ha generado más información sobre esta especie que en toda la historia de la humanidad. En México, el uso de cámaras-trampa permitió desarrollar el Censo Nacional del Jaguar y sus Presas en 2010, que ha permitido tener una idea muy clara del área de distribución actual de la especie y el tamaño de sus poblaciones. Así, se estimó que hay 4 000 jaguares en el país y que aún persisten en regiones que era difícil de pensar que existían, como en el sur del Estado de México. Está tecnología ha permitido también determinar que existen pecaríes de labios blancos (*Tayassu peccari)* en por lo menos 6 regiones del país, cuando hasta hace una década se les conocía solo de dos regiones.

El uso generalizado de cámaras-trampa ha generado mucha información que, sin embargo, muchas veces es difícil de comparar ya que los métodos usados para la colocación de la cámaras en el campo no están estandarizados. En este sentido, el desarrollo del Censo Nacional del Jaguar y sus Presas, nos permitió desarrollar un método estándar para la colocación de las cámaras-trampa, que permite llevar a cabo comparaciones estadísticas sólidas de los datos.

En este manual presentamos lineamientos básicos sobre el estudio de mamíferos por medio de cámaras-trampa, con énfasis en el jaguar. El manual está dividido en siete secciones, que tratan los temas de tipos de muestreo enfocado en mamíferos silvestres grandes y medianos, elementos básicos para el manejo de trampas-cámara, diseño de muestreo, bases de datos y ordenamiento de las fotografías, y análisis de datos. Es el primer manual de este tipo generado en Latinoamérica con el propósito específico del estudio de especies poco conspicuas, que en muchos casos se encuentran en peligro de extinción. En este sentido, esperamos que el manual sirva de base para llevar a cabo numerosos estudios que coadyuven a la conservación de la fauna de México y el continente.

Gerardo Ceballos
Cuidad de México, abril de 2013

Introducción

Un aspecto fundamental en el estudio de la fauna silvestre es la observación directa de los animales en condiciones naturales. Sin embargo, muchas especies son difíciles de observar debido a sus patrones de conducta, bajas densidades y carácter elusivo,entre otras razones (Wilson *et al.*, 1996; Karanth *et al.*, 2004a), por lo que es necesario implementar técnicas y protocolos que nos permitan obtener suficiente información sobre sus poblaciones que sea útil en la toma de decisiones para su manejo y su conservación en el largo plazo. Comúnmente resulta difícil, en ocasiones imposible, muestrear o monitorear poblaciones animales con métodos tradicionales basados en detecciones visuales directas o con métodos que involucran la captura, marcaje y radio-seguimiento de los individuos, ya que éstos suelen ser costosos y difíciles de implementar.

Recientemente las trampas-cámara se han vuelto una herramienta muy útil para el muestreo y monitoreo de poblaciones de especies de carácter críptico o raras, debido a que permiten ampliar nuestras observaciones de las especies en el tiempo y el espacio sin interferir con su conducta (Lynam, 2002; Karanth y Nichols, 2002; Karanth *et al.*, 2004a; Silver, 2004; Kays y Slauson, 2008), generando así información muy valiosa sobre la biología y ecología de estas especies, que de otra manera sería más difícil de obtener si utilizáramos métodos tradicionales.

Los estudios científicos sobre fauna silvestre que utilizan esta herramienta han aumentado en los últimos años de manera considerable. Con base en las revistas incluidas en el Institute for Scientific Information (ISI) puede verse que desde 1990 se han publicado cuando menos 71 artículos que utilizan trampas-cámara (figura 1).

A pesar de que las trampas-cámara han estado disponibles desde principio del siglo XX (Cuttler y Swann, 1999) su utilización en inventarios de fauna silvestre y en investigación ecológica es relativamente reciente. Hace cincuenta años, Pearson (1959, 1960) documentó movimientos de roedores nocturnos en una pradera utilizando una cámara de video y un disparador foto-eléctrico. Royama (1959, 1970), en uno de los trabajos pioneros con trampas-cámara, buscó identificar los componentes de la dieta de un ave

paseriforme llevados a los nidos por medio de una cámara activada con un disparador automático. A partir de estos estudios, las trampas-cámara han sido utilizadas para documentar y estudiar la depredación en nidos de aves, la dieta, los patrones de actividad de diversas especies, así como para registrar la presencia de ciertas especies en un área determinada (Cuttler y Swann, 1999).

Sin embargo, los biólogos vieron por varias generaciones a las "cámaras activadas por un disparador automático" como una herramienta divertida pero impráctica debido a su elevado costo, así como al tiempo y el esfuerzo que es necesario invertir en esta técnica (Kays y Slauson, 2008). A finales de la década de 1980, los cazadores comenzaron a utilizar esta técnica para identificar probables trofeos, creando con ello un mercado y el surgimiento de las compañías que manufacturan estos equipos a gran escala. Fue entonces que las trampas-cámara pasaron de ser voluminosas, complicadas de usar y costosas, a pequeñas, simples y más accesibles. Con estos nuevos equipos las trampas-cámara fueron redescubiertas por los biólogos a partir de 1990 y se reconoció que las herramientas estadísticas desarrolladas para otros métodos de muestreo también podían ser aplicadas al foto-trampeo siempre y cuando se cuente con el número suficiente de cámaras y de datos (Kays y Slauson, 2008).

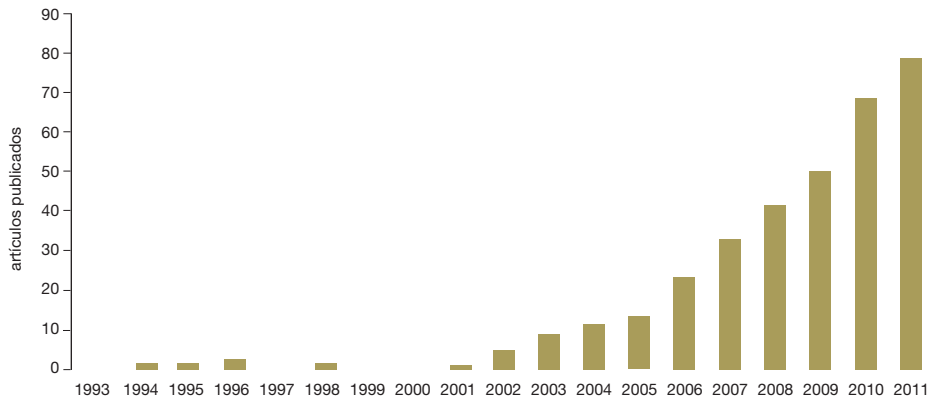

Figura 1. Número de artículos científicos publicados a partir de 1990 que han utilizado trampas-cámara, incluidos aquellos realizados en el medio marino.

En los últimos años el trampeo con cámaras automáticas en combinación con modelos estadísticos de captura-recaptura ha sido utilizado para estimar el tamaño poblacional de varias especies en diversas partes del mundo, esta técnica no invasiva permite identificar individualmente a los organismos fotografiados gracias a las marcas distintivas de sus cuerpos. Por ejemplo, su uso se popularizó desde que se comenzó a utilizar para monitorear poblaciones de tigres en la India (Karanth, 1995; Karanth y Nichols, 1998) y posteriormente se ha aplicado con éxito para calcular la abundancia y densidad de otras especies crípticas como leopardos (Henschel y Ray, 2003), ocelotes (Trolle y Kéry, 2001; Dillon y Kelly, 2007), jaguares (Wallace *et al.*, 2002; Maffei *et al.*, 2004; Silver, 2004; Silver *et al.*, 2004; Soisalo y Cavalcanti 2006; Salom-Peréz *et al.*, 2007), leopardos de las nieves (Jackson *et al.*, 2005b), hasta felinos sin manchas como pumas (Kelly *et al.*, 2008).

Esta técnica también ha sido utilizada para documentar la riqueza de mamíferos grandes y medianos en bosques tropicales (Azuara, 2005; Tobler *et al.*, 2008a, 2008b), la relación depredador-presas a través del tiempo y del espacio (Weckel *et al.*, 2006), patrones de actividad y uso de hábitat (Monroy-Vilchis *et al.*, 2007; Wakefield *et al.*, 2008), respuestas a la cacería (Di Bitetti *et al.*, 2008) o bien para documentar la presencia y abundancia de especies raras (Dinata *et al.*, 2008). La expansión en el uso y aplicaciones de las trampas-cámaras se ha incrementado en los últimos años (Rowcliffe y Carbone, 2008) de manera que se ha vuelto una herramienta de gran potencial para estudios de biodiversidad y conservación de fauna silvestre (Kelly, 2008; Rowcliffe y Carbone, 2008; O'Brien, 2008).

Este trabajo es una introducción al uso de trampas-cámara para el monitoreo de especies crípticas y raras, y va dirigido principalmente a quienes están involucrados en el Censo Nacional del Jaguar (CENJAGUAR) y a todos aquellos nuevos usuarios de esta técnica. Es importante mencionar que detalles en la instalación de trampas-cámara sólo se vuelven evidentes por medio del ensayo y error, ya que la "captura" de un jaguar utilizando esta técnica depende de varios factores. Por esta razón, recomendamos a los nuevos usuarios que dediquen tiempo a familiarizarse y ensayar con los equipos de foto-trampeo antes de iniciar el trabajo de campo. Confiamos en que las recomendaciones hechas en este manual facilitarán la implementación de los protocolos estandarizados de tal manera que se asegure la correcta toma de datos, información que ayudará a la conservación del jaguar en México. Finalmente, aunque el manual está enfocado a las poblaciones de jaguar y sus presas, varias de las recomendaciones aquí vertidas son válidas en el monitoreo de otras especies.

Objetivo

El objetivo de este manual es proporcionar las bases fundamentales del muestreo con trampas-cámara. Para ello tomaremos como sujeto de estudio al jaguar, el cual nos servirá para describir e ilustrar varios aspectos del uso de trampas-cámara.

La primera parte de este manual es una breve descripción de los diferentes métodos de muestreo y monitoreo de mamíferos silvestres de diverso tamaño. La segunda parte se enfoca en los elementos que deben tomarse en cuenta antes de iniciar un muestreo de este tipo y los criterios más importantes para colocar las trampas-cámara. La tercera parte proporciona recomendaciones para diseñar el muestreo con trampas-cámara. En la cuarta sección, para ilustrar las partes previamente descritas, se analiza el diseño de muestreo del Censo Nacional del Jaguar y sus Presas (CENJAGUAR). Por último, se proporciona una guía de cómo debe organizarse la base de datos de cada uno de los sitios muestreados, usando también como estudio de caso el CENJAGUAR.

El manual está dirigido a estudiantes, guardaparques, personal de organizaciones no gubernamentales, académicos, y en general a todos aquellos interesados en el manejo y conservación de la fauna silvestre.

I. **Tipos de muestreo**
enfocado en mamíferos silvestres grandes y medianos

La estimación de la abundancia poblacional es un problema tanto teórico como práctico en el manejo y la conservación de la fauna silvestre. Sin embargo, dado que es prácticamente imposible contar a todos los individuos de una población dentro de un área específica, es necesario realizar un muestreo de la población (registrar las características de una proporción de la población) para hacer inferencias sobre la población real. Este muestreo permite llevar a cabo acciones de monitoreo, que puede definirse como la estimación de un parámetro (ocupación, abundancia relativa, densidad) de las poblaciones animales con el propósito de hacer inferencias acerca del comportamiento de las poblaciones en el tiempo y en el espacio, así como analizar la relación que existe entre estos parámetros y otros factores como el tipo de hábitat, la perturbación por actividades humanas o las acciones concretas de manejo con fines de conservación. A continuación describimos brevemente algunos de los principales muestreos y enfoques que se han utilizado para monitorear poblaciones de mamíferos grandes y medianos. Cada tipo de muestreo proporciona información sobre un parámetro diferente, por lo que su uso depende de los objetivos planteados en el estudio en cuestión.

a] Presencia / ausencia

Una de las formas más sencillas de registrar la presencia de especies en un área determinada es por medio de observaciones directas de la fauna silvestre a lo largo de transectos establecidos, los cuales se pueden realizar durante el día o en la noche, mediante caminatas, a caballo, en vehículo, lancha, etc. (Wilson *et al*., 1996, Trolle 2003). Sin embargo, la observación directa de muchas especies son eventos raros y ocasionales. Por lo tanto, esta técnica no es muy adecuada cuando nuestra especie focal es una especie críptica, rara o escasa en vida silvestre, como es el caso de los grandes carnívoros y algunas de sus presas (Wilson *et al.*, 1998, Karanth y Nichols 2002, Karanth *et al.*, 2004).

Debido a que en ocasiones no se cuenta con los recursos económicos para adquirir equipo especializado, como trampas-cámara o collares con radio-transmisores, los rastros, huellas y excrementos son muy valiosos, ya que en la mayoría de los casos permiten identificar al mamífero hasta el nivel de especie (figura 2). Cuando se trata de huellas se considera su tamaño y forma, y en el caso de los excrementos se considera su tamaño, forma, color, constitución, presencia de pelos, fragmentos de huesos, si están constituidas por material vegetal o una combinación de material vegetal y animal (Aranda, 2000). Otros rastros pueden ser marcas de garras en los árboles o rascaderos en el suelo en el caso de los grandes felinos (Shaw, 1990; Aranda, 2000), árboles tallados con las astas en el caso de los cérvidos (Buenrostro-Silva *et al.,* 2008), o las madrigueras en el caso de los armadillos y tejones (Aranda, 2000; Arteaga y Martins-Venticinque, 2008). La colecta e identificación de rastros se hace comúnmente mediante recorridos a pie en el área de estudio, por lo que es necesario llevar yeso, plantillas y/o cámara fotográfica para la colecta de las huellas, así como bolsas de papel estraza para la colecta de las excretas (Aranda, 2000). Para la identificación de huellas y otros rastros de mamíferos existen varias guías correspondientes a México (Ceballos y Miranda, 2000; Aranda, 2005). Al observar un rastro es importante tomar los siguientes datos de colecta: coordenadas geográficas, altitud, si la excreta es fresca o vieja, hora del día y tipo de terreno.

Figura 2. A) La colecta e identificación de rastros es una de las vías por las que se puede registrar la presencia de alguna especie. Algunos ejemplos de rastros: B) huella de jaguar (*Panthera onca*) fotografiada en una selva tropical; C) excremento de puma (*Puma concolor*) encontrado en un bosque de encino; D) madriguera de tejón (*Taxidea taxus*) en un hábitat desértico. Fotos: A. de la Torre (A, B, C), H. Bárcenas (D).

La manera más adecuada de iniciar un estudio enfocado en los grandes felinos es realizando recorridos de campo para ubicar la presencia de rastros y determinar las rutas de movimiento de los individuos presentes en el área de estudio (Medellín *et al.,* 2006). Sin embargo, es necesario tener la certeza de encontrar e identificar correctamente las huellas de los felinos en la región de estudio, ya que especies como el jaguar y el puma son especies simpátricas en gran parte de México (figura 3; Aranda, 1994, 1996).

La utilización de rastros han sido criticada por una supuesta falta de objetividad y por no proporcionar información básica para las estimaciones de abundancia (Karanth *et al.,* 2003), pero su éxito depende del rigor científico y la correcta utilización de esta técnica (Rabinowitz y Nottingham 1986, Riordan 1998, Grigione *et al.,* 1999, Lewison *et al.,* 2001; Rosas-Rosas *et al.,* 2007; Rosas-Rosas *et al.,* 2008). Mediante la identificación de los rastros podemos determinar qué especies están presentes en un área determinada; por ejemplo, con esta técnica se ha ampliado recientemente el rango de distribución del tapir (*Tapirus bairdii*) en México (Lira *et al.,* 2005). También es posible estimar un número mínimo de individuos presentes dentro del área de estudio (Riordan, 1998; Grigione *et al.,* 1999; Lewison *et al.,* 2001; Rosas-Rosas *et al.,* 2008).

Por otro lado, también se puede registrar la presencia de algunos mamíferos mediante la colecta e identificación de los pelos de guarda. Esta técnica se basa en la colecta de

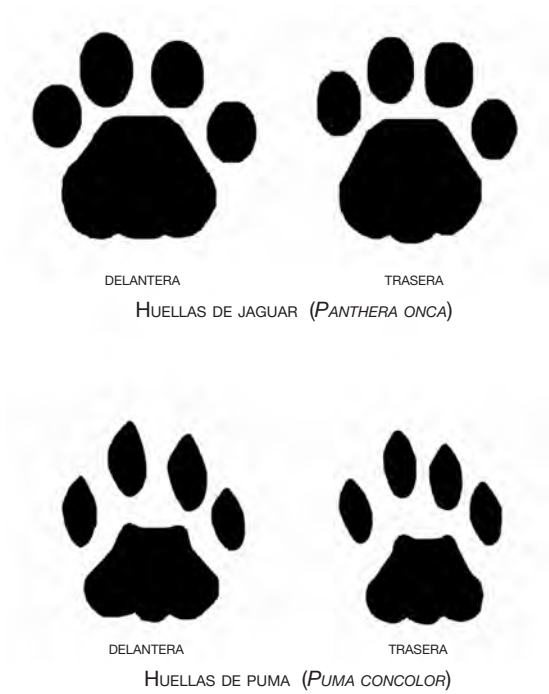

Figura 3. Huellas de jaguar y de puma. Se han utilizado diversos criterios para distinguir en campo las huellas de estos dos felinos simpátricos: 1) los dedos del puma son más puntiagudos; 2) el cojinete del puma tiende a presentar lóbulos inferiores mejor definidos que el de los jaguares; 3) los dedos de los jaguares tienden a ser más redondos que los de los pumas; 4) el ancho superior de los dedos divididos entre el ancho inferior de los dedos es mayor en los jaguares que en los pumas. Figura: Aranda, 1994.

pelos por medio de diferentes dispositivos como trampas de pelos o tapetes que por lo general utilizan atrayentes dirigidos a la especie de interés (Kendall y McKelvey, 2008). Los pelos colectados son entonces retirados de la trampa y se identifican hasta nivel específico (Castro-Arellano *et al.,* 2008; Kendall y McKelvey, 2008). La identificación de la especie a la que pertenecen los pelos colectados se realiza mediante observación macroscópica (microscopio estereoscópico) de los patrones de coloración, bandeado y longitud y microscópica (microscopio óptico) para identificar el patrón de médula del pelo, escamas y mediciones de diámetro (figura 4; Moore *et al.,* 1974; Arita y Aranda, 1987; Amín, 2004), basándose en una colección de referencia. Actualmente se cuenta con claves para la identificación de pelos de guarda de mamíferos (Moore *et al.,* 1974; Baca-Ibarra y Sánchez-Cordero, 2004; Juárez-Sánchez *et al.,* 2007).

Aunque el registro de la presencia de mamíferos a partir de muestras de pelo es una técnica antigua y ampliamente utilizada, no recibió mucha atención en estudios poblacio-

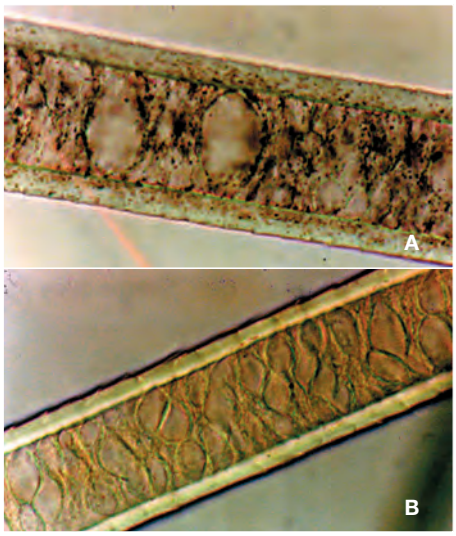

Figura 4. Muestras de patrones de médula de pelos de guarda fotografiados con un objetivo 40x. A) Pelos de guarda de puma (*Puma concolor*) y B) de coyote (*Canis latrans*). Comparando los pelos colectados con una colección de laminillas de referencia podemos identificar en muchas ocasiones al animal del que provienen hasta el nivel de especie. Fotos: A. de la Torre.

Figura 5. Personal aplicando un cuestionario a los pobladores de Sierra Seri, Sonora, para registrar los sitios donde pudiera encontrarse lince (*Lynx rufus*). Foto: H. Bárcenas.

nales hasta que se desarrollaron métodos eficientes y económicamente accesibles para la amplificación del ADN presente en estas muestras (Kendall y McKelvey, 2008). Actualmente con esta técnica se realizan estudios para estimar la abundancia (Woods *et al.,* 1999; Williams *et al.,* 2009), la variación genética (Paetkau, 2003), los tamaños efectivos (Mowat y Strobeck, 2000; Paetkau, 2003) y la proporción de sexos de las poblaciones (Taberlet *et al.,* 1993). En algunos casos, es posible también realizar análisis genéticos de los excrementos para identificar a los individuos de la especie de interés (Palomares *et al.,* 2002). Sin embargo, esta técnica es aún relativamente costosa y es posible que los marcadores moleculares no sean suficientemente finos para poder distinguir a los individuos.

Otro método indirecto para registrar la presencia de alguna especie es por medio de cuestionarios o entrevistas aplicadas a la población local del área de estudio (figura 5) con el fin de registrar la presencia de probables poblaciones de especies raras o difíciles de observar (Karanth y Nichols, 2002; Medellín *et al.,* 2006; Lira-Torres y Ramos-Fernández, 2007). Estos cuestionarios o entrevistas pueden aplicarse a los pobladores y las autoridades locales (ejidales, municipales y estatales), cazadores, académicos, miembros de organizaciones no gubernamentales e investigadores que trabajan en la región. La información generada proporcionará información específica sobre la localización, actividades y hábitos de la especie de interés, y permitirá asimismo registrar animales cazados, pieles o cráneos en la zona de estudio (Apéndice 1).

Finalmente, las trampas-cámaras también pueden considerarse una herramienta para documentar la presencia de mamíferos (Lynam, 2002; Yosuda, 2007) y han servido en inventarios de fauna silvestre (Srbek-Araujo y Chiarello, 2005; Trolle, 2003; Azuara, 2005; Giman *et al.,* 2007; Tobler *et al.,* 2008a). En México, por ejemplo, se han obtenido nuevos registros de gato montés (*Lynx rufus*) en la costa de Jalisco (López-González *et al.,* 1998), de jaguar en el Estado de México (Monroy-Vilchis *et al.,* 2007) y ocelote (*Leopardus pardalis*) en Michoacán y Aguascalientes (Chávez-León, 2005; Bárcenas y Medellín *com. pers.*).

b] Distribución potencial

El conocimiento de la distribución de las especies es fundamental para identificar las áreas donde se encuentran y con ello proponer medidas de manejo y conservación. Sin embargo, estimar la distribución de cualquier especie no es una tarea fácil y ésta se convierte en un reto cuando se trata de especies raras o crípticas. Dado que es prácticamente imposible conocer la distribución exacta de las especies, existe actualmente un conjunto de programas computacionales que modelan la distribución de las especies (con base en su nicho ecológico), tales como Bioclim (Busby, 1991), Domain (Carpenter *et al.,* 1993), ENFA (Ecological Niche Factor Analysis; Hirzel *et al.,* 2002), MaxEnt (Maximum Entropy modeling distribution; Phillips *et al.,* 2006), GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction; Stockwell y Peters, 1999), entre otros (Guisan y Thuiller, 2005). Para la modelación del nicho

ecológico se requieren dos tipos de datos: localidades georreferenciadas y coberturas de variables ambientales (como temperatura o precipitación) que influyan posiblemente en la generación de un ambiente adecuado para esas especies (Phillips *et al.,* 2006; Elith *et al*., 2006; Guisan y Thuiller, 2005).

Por ejemplo, la distribución histórica del jaguar en México incluía regiones tropicales y subtropicales desde Sonora y Tamaulipas, siguiendo las planicies costeras del Golfo y Pacífico hasta Chiapas y la Península de Yucatán, y llegando por la cuenca del río Balsas hasta el estado de México (Ceballos *et al.,* 2006). Modelando su distribución a nivel nacional mediante el uso del programa GARP se estimó que el jaguar actualmente sólo ocupa 40 % de su distribución histórica u original en México y que prácticamente ha desaparecido de la región costera del Golfo de México (figura 6; Chávez y Ceballos, 2006). En otro estudio modelamos la distribución potencial de todos los mamíferos terrestres de México con el objetivo de lograr un diagnóstico del papel que juegan las áreas naturales protegidas de nuestro país en la conservación de estas especies (Ceballos, 2008). También se han utilizado los modelos predictivos para determinar las interacciones entre las especies de felinos que se distribuyen en México (Sánchez-Cordero *et al.,* 2008).

c] Índices de abundancia relativa

Los índices de abundancia relativa suelen expresarse como el número de observaciones dividido entre el esfuerzo de muestreo. Algunos ejemplos de estos índices son el número de rastros encontrados por distancia recorrida (Valdez *et al.,* 2002; Mandujano y Gallina, 2005; Lira-Torres *et al.,* 2005; Cruz *et al.,* 2007; Reyna-Hurtado y Tanner, 2005) o el número de fotografías por esfuerzo de muestreo (por ejemplo por cada 1000 días-trampa;

Figura 6. Probable distribución del jaguar en México basada en un modelo GARP (modificado de Chávez y Ceballos, 2006).

Carbone *et al.,* 2002; Wallace *et al.,* 2003). Los índices de abundancia relativa están positivamente correlacionados con la densidad de la población de un área determinada, sin embargo desconocemos qué proporción de la población representa este índice (Nichols, 1992; Karanth y Nichols, 2002). Estos índices son utilizados para hacer comparaciones de abundancia de los animales a través del tiempo y el espacio pero, como se mencionó, desconocemos el número real de individuos de las poblaciones muestreadas. En este caso, sólo podemos decir que en el sitio A la abundancia relativa es mayor que en el sitio B, o que en el tiempo Y la abundancia relativa es menor que en el tiempo X. Por ello en todos los índices de abundancia relativa es necesario calcular una probabilidad de captura asociada, con el fin de determinar si alguno de nuestros índices no está sesgado y poder hacer comparaciones válidas (Karanth *et al.*, 2004a; Nichols y Karanth, 2002; Jennelle *et al.,* 2002; Tober *et al.,* 2008b).

Lo ideal para la adecuada toma de decisiones en el manejo y la conservación de cualquier especie es estimar su tamaño poblacional y dependiendo de la especie esto puede requerir de un gran esfuerzo de trabajo en campo, tiempo, equipo costoso y recursos económicos. Por ello implementar un estudio utilizando las abundancias relativas como un índice comparativo se vuelve una herramienta atractiva (figura 7).

Figura 7. Las abundancias relativas de las presas del jaguar pueden ser estimadas utilizando la técnica de foto-trampeo. La proporción de fotos de una especie o la frecuencia de captura de cada especie por esfuerzo de muestreo (por ejemplo por 1000 días/trampa) es un indicador de su abundancia relativa. Ejemplos de presas A) *Tayassu pecari*, B) *Nasua narica*, C) *Mazama temama* y D) *Cuniculus paca*. Fotos: A. de la Torre y R.A. Medellín.

d] Estimación de la abundancia absoluta

La abundancia absoluta es el número total de individuos de una población y generalmente es representada por el número de individuos/unidad de área (densidad). La precisión del tamaño poblacional estimado respecto al tamaño real depende en parte del esfuerzo de muestreo y de la distribución aleatoria de los individuos o especies focales. En hábitats uniformes se necesitarán pocas muestras si la distribución de los animales es al azar. Sin embargo, sabemos que la mayoría de las especies de fauna silvestre no se distribuyen de forma aleatoria, sino en función de numerosos factores biológicos, físicos y antropogénicos. Variables como el tipo de vegetación, la disponibilidad y distribución del agua pueden restringir la distribución de estas especies, por lo que es importante dividir las muestras en categorías o estratos que agrupen esos factores críticos. Cuando esto se hace en forma apropiada, la estimación se vuelve más precisa que con un muestreo aleatorio simple o con uno sistemático.

La estimación de la abundancia absoluta en grandes gatos y sus presas se ha realizado con base en algunas de las siguientes técnicas:

1. Radio-telemetría

Con esta técnica se han estimado las densidades de varias especies de carnívoros (Schaller y Crawshaw, 1980; Crawshaw y Quigley, 1991; Rabinowitz y Nottingham, 1986; Ceballos *et al.,* 2002; Nuñez *et al.,* 2002; Chávez, 2006). Consiste en capturar a los animales con algún método (trampas, perros, fosos, etc.) y anestesiarlos para colocar un collar con un transmisor que emite una señal de radio (VHF) o permite su ubicación mediante un sistema de posicionamiento global (GPS); la información puede ser recuperada del mismo collar y/o ser enviada vía satélite (figura 8). Por medio de las localizaciones de varios

Figura 8. Captura de un jaguar con collar de radio-telemetría. Foto: C. Chávez.

individuos se puede estimar el tamaño de las áreas que utilizan y con base en las áreas de actividad de todos los individuos se puede hacer la estimación de la densidad (número de animales por unidad de área). Sin embargo, esta técnica tiene la desventaja de ser muy costosa, tanto en recursos económicos como en esfuerzo humano, además de que nunca se tiene la certeza de haber capturado a todos los animales residentes o presentes en un área.

2. Foto-trampeo en combinación con modelos de captura-recaptura

Esta técnica fue desarrollada originalmente para estimar densidades de tigres en la India (Karanth, 1995; Karanth y Nichols, 1998) y posteriormente aplicada en felinos moteados. Tiene la ventaja de que permite identificar a los individuos con base en el patrón distintivo de bandas o motas de cada animal; los datos obtenidos con esta técnica se analizan con modelos de captura-recaptura para poblaciones cerradas (Otis *et al.,* 1978; figura 9; véase el capítulo VI).

Figura 9. Dos capturas de un mismo jaguar. En las fotografías se muestran las rosetas con el mismo patrón que permiten identificar al jaguar a nivel de individuo.
Fotos: A. de la Torre.

3. Transectos lineales visuales

En esta técnica un observador recorre una distancia determinada en un transecto contando todos los animales que son visualmente detectados, registrando las distancias perpendiculares del transecto hacia el animal. En este tipo de métodos se asume que los conteos son incompletos, es decir, que no todos los animales presentes en el área son detectados durante el recorrido del transecto. Por tanto, la proporción de animales presentes que realmente fueron vistos debe ser estimada y el conteo real debe ser corregido mediante la probabilidad de detección. Ésta se estima con base en la distancia perpendicular del transecto a los animales detectados. Este método está basado en cinco supuestos principales: 1] los transectos están distribuidos al azar; 2] todos los animales sobre el transecto son detectados; 3] los animales son detectados en su localización inicial; 4] todas las distancias son medidas con exactitud; y 5] todas las observaciones son eventos independientes. La premisa básica para la estimación por medio de transectos lineales y de todos los demás métodos de muestreo por distancia es que la probabilidad de detectar un animal decrece conforme incrementa la distancia al transecto (Buckland *et al.,* 2001; Lancia *et al.,* 2005).

Este método de monitoreo se ha utilizado para estimar las densidades de las presas de tigres en la India (Karanth y Nichols, 1998) y de jaguares en Guatemala (Novack *et al.,* 2005), Venezuela (Polisar, 2002; Polisar *et al.,* 2003), Perú (Kuroiwa y Ascorra, 2002) y Brasil (De Azevedo y Murray, 2007).

e] ¿Cuál es el muestreo más apropiado?

El tipo de muestreo que elijamos depende en gran medida de la pregunta que pretendamos responder con nuestro estudio. En el cuadro 1 se muestran los distintos tipos de muestreo, desde el más simple hasta el más complejo, cuáles son las técnicas más usuales para realizarlo, cuál es el nivel de conocimientos requeridos, equipo, duración, complejidad logística, costo y nivel de precisión de los datos obtenidos.

Cuadro 1. Características de los diferentes tipos de muestreo para la estimación de parámetros poblacionales de mamíferos silvestres

	Muestreo simple			Muestreo complejo
	Presencia/ ausencia	Presencia/ ausencia (Formal)	Abundancia relativa	Estimación de abundancia relativa/ absoluta
Características de la información	No formal	Formal/ sistemática	Formal/ sistemática	Formal/ sistemática
Técnica	Sitio para buscar rastros/pláticas	Selección sistemática del sitio para buscar signos. Encuestas estructuradas	Transectos estandarizados para signos/ visuales	Trampeo/Foto-trampeo/Perfil ADN/Radio telemetría
Nivel de conocimientos requerido	Relativamente bajo	Moderado	Moderado	Alto o muy alto (biólogos o técnicos con entrenamiento)
Equipo especializado	Ninguno (mapas)	alguno (GPS/ mapas)	alguno (GPS/ mapas/brújula/ contadores)	Extensivo (trampas-cámara, GPS, radiocollares)
Duración del muestreo	Corta (días)	Moderada	Moderada (semanas)	Extensa (meses/ años)
Costo logístico	Bajo	Moderado	Moderado	Alto
Costo del muestreo	Muy bajo	Bajo-Moderado	Moderado	Alto
Nivel de precisión de los datos obtenidos	Bajo	Bajo-Moderado	Moderadamente alto	Alto

II. **Elementos básicos para el manejo de trampas-cámara**

a] Antes de realizar el muestreo

1. ¿Qué es una trampa-cámara?

Es un dispositivo compuesto por un sistema detector de movimiento y/o calor (SDMC) conectado al disparador de una cámara convencional (figura 10). Al detectar algún movimiento o cambio en la temperatura en el ambiente, producido por algún animal u objeto que cruza el área de acción del detector, el SDMC envía una señal a la cámara para disparar el obturador y tomar la foto.

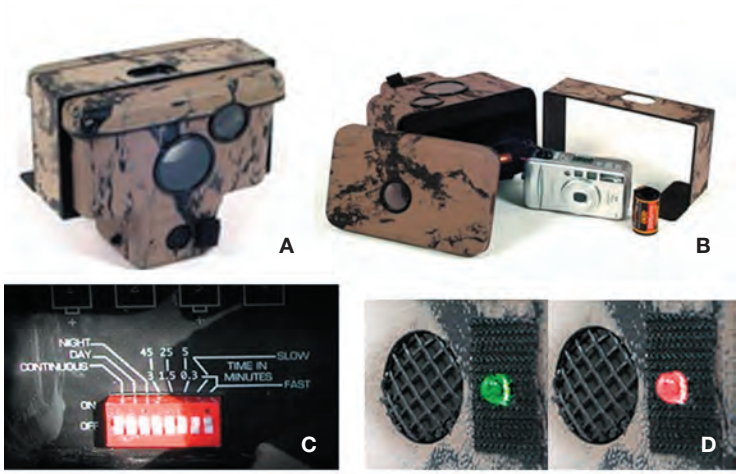

Figura 10. Componentes de una trampa-cámara: A) dispositivo completo; B) elementos de la trampa-cámara; C) controlador del sensor detector de movimiento y/o calor; D) forma del sensor en su modo de prueba (rojo) y en su modo de activado (verde). Fotos: <www.camtrakker.com>.

2. Tipos de trampa-cámara

Actualmente existen dos tipos de trampa-cámara, según su sistema de activación: *el sistema activo* (SA) y *sistema pasivo* (SP).

Sistema activo. Cuentan con tres elementos: la cámara, un emisor y un receptor (figura 11). Este tipo de equipo sólo es fabricado por la compañía TrailMaster® y su sistema funciona de la siguiente manera:

i] La cámara de rollo o digital está conectada a un receptor.
ii] El receptor recibe un rayo infrarrojo generado de manera permanente por un emisor colocado a una distancia variable de acuerdo al modelo que se utilice y organismo que se desee fotografiar.
iii] Cuando el rayo infrarrojo es interrumpido por algún animal, se genera la señal que activa el obturador de la cámara.

Una de las ventajas de este tipo de sensor es que solamente se activa cuando el rayo infrarrojo es interrumpido y no cuando se presentan altas temperaturas ambientales o cuando se mueven las plantas de la periferia. Otra ventaja es que se pueden obtener fotos de excelente calidad en casi cualquier tipo de ecosistema. Sin embargo, este sistema requiere de tres elementos que se

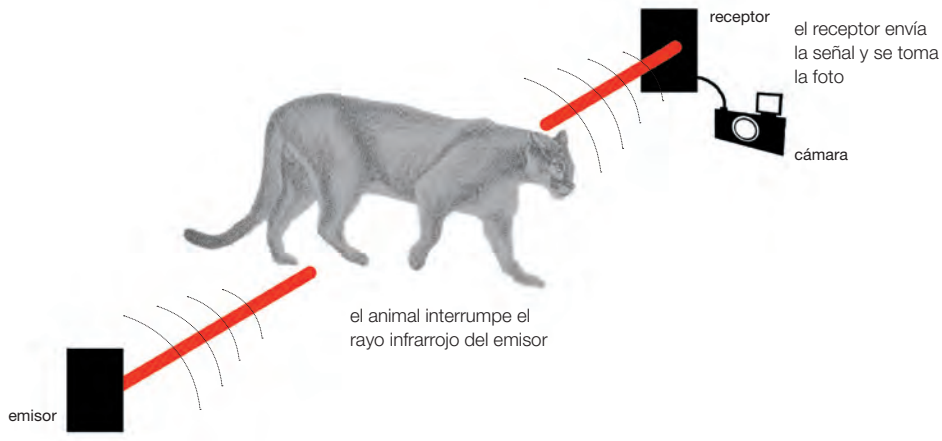

FIGURA 11. Equipo de foto-trampeo con sistema activo cuyos elementos principales son el emisor, el receptor y la cámara. Imagen: H. Bárcenas.

venden por separado (figura 12), requiere de un mayor conocimiento del equipo y su instalación requiere más tiempo en comparación con otros tipos de trampas-cámara. Los cables que conectan la cámara al emisor y al receptor también pueden ser dañados por roedores. Por último, este tipo de equipos tienen un costo elevado ($500 a $550 USD) considerando el sistema (emisor y receptor) y la cámara con los cables para conectarse al sistema.

Sistema pasivo. La mayoría de las trampas-cámara en el mercado utilizan el sistema de activación pasivo, el cual está incluido dentro de una misma unidad junto a la cámara. Este sistema detecta por medio de un sensor (receptor) el movimiento y el calor generado por un animal u objeto dentro de un área conocida como 'zona de sensibilidad'. La zona de sensibilidad está determinada por la forma y el tamaño del sensor, que varían en función de las marcas y los modelos. Por ejemplo, los equipos fabricados por Camtrakker® tienen un rango de detección cónico de aproximadamente 8 metros de largo. En cambio, los sensores de la marca Stealth-Cam® son más abiertos y su rango de detección es mayor (figura 12).
Las ventajas de los equipos de foto-trampeo que utilizan sistema de activación pasiva son que todos sus elementos (cámara y sensor) están integrados en una sola unidad que varía en diseño y tamaño de acuerdo con la marca y el

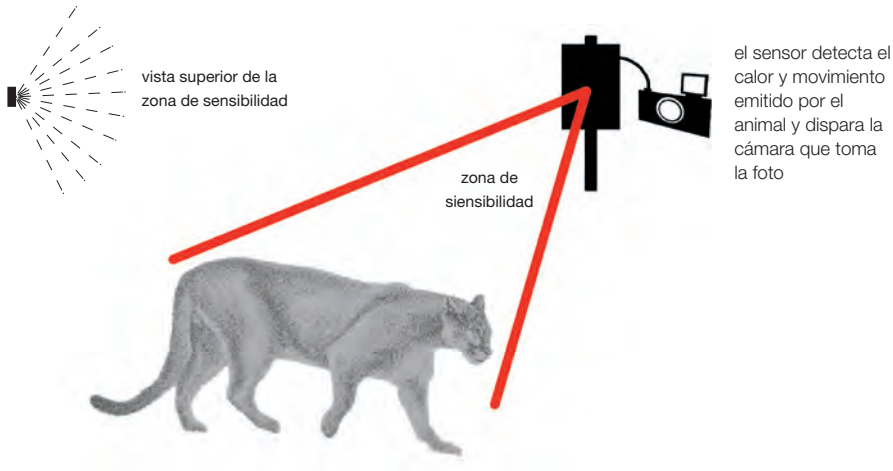

FIGURA 12. Sistema de activación pasiva en el que se muestra la zona de sensibilidad desde una vista frontal y una vista superior. Imagen: H. Bárcenas.

modelo; la mayoría de estos equipos son resistentes al agua; y su costo es menos elevado que los equipos con sistema activo ($80 a $550 USD aproximadamente).

3. Modelos analógicos y digitales

Además de los dos tipos de dispositivos mencionados anteriormente, pueden existir variantes en cuanto al tipo de cámara que utilizan.

Equipos con cámaras analógicas. La mayoría de los estudios de foto-trampeo que se han publicado hasta al momento han utilizado este tipo de equipo. Las cámaras analógicas son aquellas que utilizan un rollo (usualmente de 35 mm) para el almacenamiento de las imágenes. Sin embargo, en este tipo de cámaras puede haber un inadecuado manejo de los rollos de película, tanto por parte del investigador como del laboratorio responsable del revelado, y la humedad puede causar que el rollo se atore o se dañe. Además, puede llegar a perderse la secuencia del material fotográfico, por ejemplo a qué ubicación corresponde cada rollo, y es necesario considerar el costo del revelado del rollo y su digitalización. Sin embargo, a pesar de estos inconvenientes, las trampas-cámara de rollo tienen la ventaja de que el disparo de la cámara es inmediato (o con un intervalo sin importancia), de manera que el evento que generó el disparo es documentado inmediatamente en una fotografía, a diferencia de los modelos digitales. Esto es de vital importancia si consideramos que los animales detectados por el sensor no tardarán mucho tiempo en el encuadre de la cámara (de uno a tres segundos). Los modelos más utilizados de trampas-cámara analógicas son los de las marcas Trail-Master®, Camtrakker® y Deer Cam®, debido a su costo y los buenos resultados que se han obtenido con ellas.

Equipos con cámaras digitales. La mayoría de las compañías que fabrican trampas-cámara han cambiado de la tecnología analógica a la digital. Sin embargo, estos equipos tienen un retraso entre el momento en que el animal es detectado y la toma de la fotografía. Debido a que esta demora puede ser de 2.5 segundos o más, el animal que ha activado el mecanismo de disparo puede no aparecer en la foto, o bien sólo aparece su cola o alguna otra parte del cuerpo. Actualmente hay una nueva generación de trampas-cámaras digitales que han solucionado este problema, pues un retraso muy breve de 1/4 de segundo. Sin embargo, entre las desventajas de estas cámaras se encuentra su elevado costo, que fluctúa alrededor de $500 USD, y el hecho de que no son

muy adecuadas en sitios con alta humedad relativa si no se tienen los cuidados necesarios para evitar dañar el equipo.
La marca de trampas-cámara digitales que tiene un retraso de disparo más corto es Reconyx® (0.25 seg) y actualmente se está probando un modelo de esta marca (RC55) en un estudio a escala local en Panamá que ha generado buenos resultados (Roland Kays *com. pers.*, *http://www.flickr.com/photos/23354802@N05/*). Otra marca de trampa-cámara digital que tiene un retraso menor de disparo es Cuddeback® (0.89 seg), cuyo costo por unidad va de $270 a 400 USD. Este modelo se utilizó en un estudio poblacional de jaguar en el sur de la Península de Yucatán en combinación con trampas-cámara analógicas dando buenos resultados, y en el sur de los Estados Unidos de América (Cuauhtémoc Chávez *obs. pers*.; McCain y Childs, 2008).

4. Consideraciones para la adquisición de trampas-cámara

Para un estudio de ecología poblacional el número de unidades necesarias depende entre otras cosas de la(s) especie(s) de interés, los objetivos y el diseño de muestreo, lo que exige un balance de los costos y beneficios. Es importante analizar el presupuesto disponible en relación con las características, funcionamiento y precios del equipo, así como su eficiencia. Existen modelos y marcas de costo muy bajo, pero cuya eficiencia y funcionamiento en el campo no son buenos, o puede tratarse simplemente de un equipo inadecuado para las condiciones de trabajo. Dado lo difícil que es obtener los recursos suficientes para llevar a cabo un proyecto de campo de estas características, es de importancia crucial familiarizarse, estudiar, analizar y evaluar tantas marcas y modelos como haya disponibles. Una comparación de sus costos, desempeño y especificaciones, junto con pruebas de la velocidad de disparo a varias distancias pueden obtenerse en la dirección electrónica <*www.trailcampro.com/*>.

b] Colocación

1. Conceptos básicos

Lo primero que debe estar claro al iniciar un estudio con trampas-cámara son los conceptos y tecnicismos usados en esta técnica de muestreo:

Estación de foto-trampeo. Se refiere al sitio físico donde se instalarán las trampas-cámara. La estación puede ser sencilla o doble. Las estaciones dobles permiten fotografiar ambos flancos de los animales al pasar entre las cá-

maras, lo que es esencial para maximizar las probabilidades de identificarlos individualmente así como para reducir los errores que puedan presentarse, como distintas sensibilidades de los sensores o una mala colocación de las trampas-cámara.

Rastros. Cualquier evidencia o señal dejada por un animal silvestre durante sus actividades habituales; pueden ser huellas, excretas, rascaderos, hechaderos, refugios o alguna marca (p. ej. en un árbol).

Calibración. Proceso mediante el cual se ajusta la altura y la distancia a la cual será colocada la trampa-cámara.

2. Pasos para colocar una trampa-cámara

Selección del sitio. Lo ideal es que los sitios donde se coloquen las estaciones de foto-trampeo sean lugares donde anteriormente se observaron rastros (Karanth y Nichols 2002, Medellín *et al.,* 2006). Puede tratarse de senderos, brechas, aguajes, lechos de ríos, arroyos, caminos de terracería, etc., y en algunos casos sólo personas expertas o habituadas a ese tipo de ambientes pueden identificarlos adecuadamente (figura 13).

Programación de las cámaras-trampa. Antes de instalarse en la estación es de vital importancia una correcta programación.

En el caso de la cámara:

1] Ajustar la fecha (día/mes/año).
2] Ajustar la hora.
3] Seleccionar la opción de etiquetar las fotos con la fecha y hora.

En el caso del sensor:

1] Seleccionar modo de detección continua (día y noche).
2] Seleccionar retraso de 1 minuto entre foto y foto.
3] Seleccionar la opción de disparo rápido (fase).

Es fundamental conocer la fecha y la hora exacta en que se tomó cada fotografía, ya que si no contamos con esta información difícilmente podremos hacer un análisis serio de las fotografías obtenidas (figura 14). Es recomendable elegir la opción que nos brinde la mayor información posible impresa en la imagen. En los modelos analógicos puede ser más útil elegir la opción de

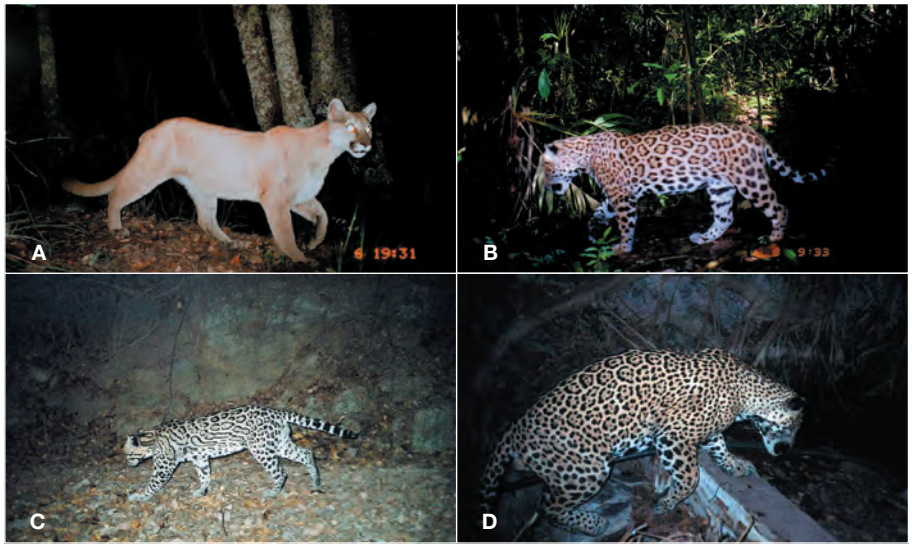

Figura 13. Sitios en los que pueden ser colocadas las estaciones de foto-trampeo. A) *Puma concolor* en Sierra Fría, Aguascalientes, México, fotografiado con una trampa-cámara ubicada en un camino de terracería (Foto: H. Bárcenas y R.A. Medellín); B) *Panthera onca* en un sendero abierto con machete en la Selva Lacandona, Chiapas (Foto: A. de la Torre y R.A. Medellín); C) *Leopardus pardalis* capturado mediante trampa-cámara colocada sobre un arroyo seco (Foto: H. Bárcenas y R.A. Medellín); D) *Panthera onca* fotografiado en Sinaloa en un aguaje artificial (Foto: UAS e IE UNAM).

Figura 14. Es fundamental programar las trampas-cámara para que incluyan una etiqueta del momento en que fue tomada cada una de las fotografías. Estas cuatro fotografías fueron tomadas en un mismo sitio y representan capturas de la misma especie (*Tayassu pecari*). Por medio de la fecha marcada sabemos que A) y B) fueron tomadas en una misma ocasión de muestreo (en este caso definida como un día, 27 de mayo de 2007). En cambio, C) y D) pertenecen a dos eventos distintos (15 de mayo de 2007 y 20 de mayo de 2007). Fotos: A. de la Torre.

etiquetar en la fotografía el día y la hora (en estos modelos existe la opción de imprimir día y hora, o bien día, mes y año, pero los datos como mes y año se pueden obtener a partir del día en que se colocaron las cámaras). En el caso de las trampas-cámara digitales, todos los datos pueden aparecer en la imagen, pero se debe tener cuidado al programar la cámara para tener los datos correctos y completos.

Se recomienda elegir la opción de un minuto de retraso entre foto y foto y la opción de un solo disparo en la misma activación. Sin embargo, en sitios donde son frecuentes los grupos de pecaríes, coatíes o ganado es recomendable dejar un retraso mayor entre fotos sucesivas, para evitar que los rollos fotográficos y las baterías se agoten en un corto plazo. En la mayoría de los casos es recomendable dejar el sensor activo durante el día y la noche. Sin embargo, en los sitios donde hay presencia humana o ganado es recomendable dejar el sensor activo sólo en la noche para evitar el gasto de fotografías innecesario y/o la pérdida del equipo. Este tipo de decisiones dependen de cada investigador y se tomarán con base en los objetivos que pretenda cubrir el estudio y las características del equipo.

Al utilizar cámaras analógicas, es muy importante etiquetar cada rollo con una clave antes de utilizarlo, como se sugiere en el Anexo 1, ya que al recoger las cámaras y extraer los rollos, éstos pueden fácilmente confundirse. Tener los rollos marcados de manera individual y saber de qué cámara y ubicación provienen puede representar la diferencia entre el éxito y el fracaso por no saber dónde fueron tomadas esas fotografías.

Orientación con respecto al sol. Antes de instalar una trampa-cámara en la estación de muestreo es importante ubicar el oriente y el poniente, ya que de estas direcciones provendrá la luz del sol al amanecer y al atardecer. Cuidando este pequeño detalle se evitarán fotografías con exceso de luz o que las cámaras se activen por rayos del sol que inciden directamente sobre el sensor (figura 15). La recomendación es colocar la trampa cámara en dirección norte o sur.

Colocación. Una vez programados el sensor y la cámara, y después de seleccionar el lugar donde se instalará, se procede a colocarla. La trampa-cámara puede instalarse algunos metros adelante o atrás del rastro de referencia. Idealmente, la instalación debe hacerse en el tronco de un árbol u otra estructura similar (figura 16), pero no siempre se dispone de un árbol con las características deseadas de distancia y altura a las que se requiere instalar la trampa-cámara. En estos casos se puede utilizar una estaca u otro apoyo (figura 17). Es importante que al colocar la estaca quede completamente fija

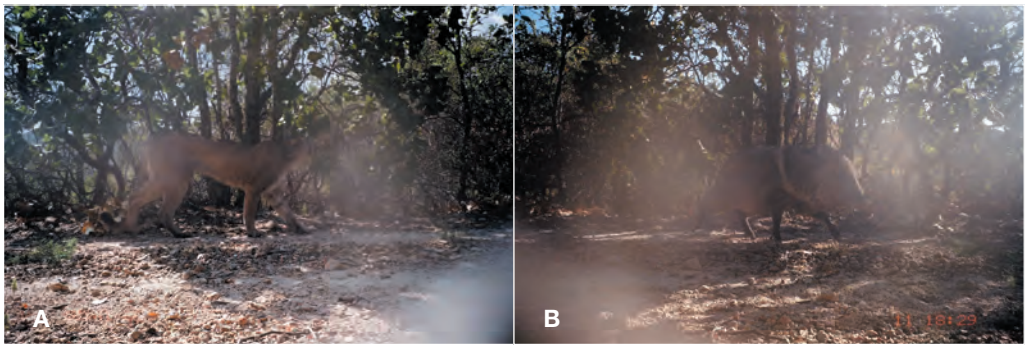

Figura 15. Fotografías con exceso de luz. Este problema es muy común cuando se trabaja con trampas-cámara y es debido a una inadecuada orientación al momento de colocarlas. Fotos: H. Bárcenas.

Figura 16. Instalación de una trampa-cámara en un árbol. Fotos: H. Zarza (izquierda) y H. Bárcenas (derecha).

Figura 17. Instalación de trampas-cámara en estacas. El uso de estacas permite colocar la trampa-cámara a la distancia más adecuada para fotografiar el animal de interés. Fotos: H. Bárcenas (izquierda) y A. de la Torre (derecha).

para evitar movimientos posteriores. Dependiendo de las condiciones de trabajo, de la seguridad del sitio y del presupuesto se puede optar por asegurar cada cámara con una caja de acero como las que han descrito Fiehler *et al*. (2007) o las que se venden comercialmente, por ejemplo de Cuddeback Inc.

Calibración de las trampas cámaras. La altura a la que se coloca la trampa-cámara depende del tamaño de la especie de interés, por lo que es importante considerar la altura respecto al nivel del suelo. En el caso del jaguar, el objetivo sería que el sensor detecte la cabeza y el lomo del animal, por lo que la trampa-cámara debe fijarse a una altura de 40 a 50 cm sobre el suelo. Para el caso de especies de tamaño entre 20 y 40 cm, la altura adecuada sería de aproximadamente 30 cm.
Otro factor a considerar es la distancia, que depende de la altura del animal y de la distancia de enfoque de la trampa-cámara, además de la amplitud del sensor. Se considera usualmente una distancia mínima de tres metros de la cámara al sitio por el que se presume pasará el animal a fotografiar, y esto obedece básicamente a dos razones: 1) porque la distancia mínima de enfoque de las cámaras está en un intervalo de 80 a 200 cm; y 2) con esta distancia aseguramos encuadrar en la fotografía el cuerpo completo de una especie de tamaño grande. Como ejemplo, para calibrar la altura del sensor para jaguares es posible realizar pruebas con personas gateando que pasen a diferentes distancias a partir de los 3 metros de distancia para saber a qué altura el sensor detecta a dicha persona (figura 18).

Figura 18. La calibración de la altura del sensor para fotografiar jaguares puede hacerse con la ayuda de personas que pasen gateando a diferentes distancias a partir de los 3 metros. A) Una persona pasa gateando mientras otra busca definir la altura que maximice la zona de detección del sensor; B) jaguar que pasó por ese mismo sitio 14 días después de que fue colocada la estación de foto-trampeo. Fotos: A. de la Torre.

Calibración de estaciones dobles. Las estaciones dobles (*check points*) son sitios en los que se colocan dos trampas-cámara, en ambos lados del rastro, sendero o sitio donde se cree que va a pasar la especie de interés; su ubicación está asociada a los sitios más prometedores. El objetivo de obtener fotografías de ambos costados del animal es identificarlo fácilmente a nivel de individuo. Además, se incrementa la probabilidad de fotografiarlo en caso de que una trampa-cámara falle. Las trampas-cámara deberán colocarse una frente a otra, pero ligeramente desfasadas, aproximadamente 20 cm mínimo y 40 cm máximo (figura 19). Este desfase evita que la luz del flash de una cámara afecte la fotografía tomada por la otra al momento en que el animal es detectado. El desfase no debe ser mayor a 40 cm porque, al recibir el primer flash, el animal podría dar media vuelta o cambiar su recorrido. El número de estaciones dobles dependerá del presupuesto disponible; para estimar densidades se recomienda que al menos el 50% de las estaciones sea doble.

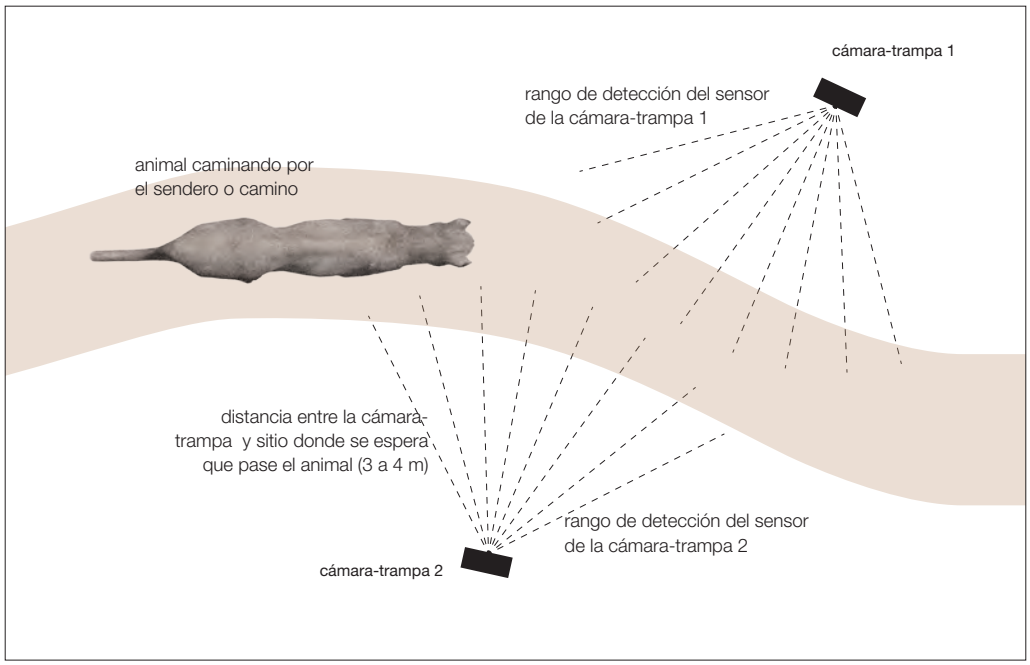

FIGURA 19. Posible distribución de las estaciones dobles (vista superior). La ilustración muestra el desfase que debe existir entre las dos trampas-cámara para evitar que el flash interfiera en las imágenes. En este caso el animal que va caminando por el sendero será detectado por el sensor de la trampa-cámara 2 y fotografiado, para posteriormente ser detectado por el sensor de la trampa-cámara 1 y ser fotografiado por esta última. Imagen: A. de la Torre.

3. Recomendaciones adicionales

Cuando se instalen las estaciones de foto-trampeo es necesario tener la precaución de retirar los objetos que puedan activar los sensores. En los sitios donde se instalen las trampas-cámara puede haber pastos, ramas u otros obstáculos sobre la línea de detección del sensor que pueden moverse con el viento y activar el sensor. Sin embargo, es muy importante modificar el sitio lo menos posible para que los animales no perciban diferencias. Un error frecuente durante la instalación es dejar algún olor por usar las manos impregnadas con crema, loción o algún tipo de alimento; este olor queda impregnado en las trampas-cámara y causa que los animales se acerquen directamente al equipo fotográfico, lo que genera fotos poco útiles para la identificación de los individuos (figura 20). En casos extremos las trampas-cámara podrían ser dañadas por la misma fauna silvestre, en cuyo caso es necesario colocar protecciones para el equipo.

Figura 20. Entre los errores más comunes de instalación se encuentra el dejar residuos de cremas, lociones o alimentos. Los olores de estos productos causan que los animales sean atraídos directamente al equipo de foto-trampeo.
Foto: H. Bárcenas.

c] Antes de iniciar el estudio

Previamente a la realización del estudio de foto-trampeo cada investigador deberá tener una idea clara de qué pregunta pretende contestar o que información espera obtener. Por ejemplo, en el caso del CENJAGUAR el objetivo es estimar la abundancia absoluta o densidad de los jaguares en áreas prioritarias para la conservación de la especie. Después de tener el objetivo bien delimitado y claro, es recomendable que al menos cada investigador y su equipo de trabajo tengan la siguiente información (Silver, 2004).

1. **Mapas del área de muestreo**

   Es de gran utilidad tener una idea de la topografía y características del terreno donde se pretende colocar las estaciones. Esto nos permitirá evaluar la logística y el esfuerzo para colocar las estaciones de foto-trampeo, los caminos de acceso, el área que se pretende cubrir, etc.

2. **Acceso al área de muestreo**

   En la mayoría de las regiones hay caminos que facilitan el acceso al área de muestreo; sin embargo, casos como la Selva Lacandona, no los hay, por lo que es necesario abrir brechas con machete para acceder a algunos sitios. Es recomendable, en ese caso, que estas brechas se abran o se limpien con anticipación para que los animales se acostumbren a utilizarlas (Maffei *et al.,* 2004; Medellín *et al.,* 2006).

3. **Rutas o sitios utilizados por los animales**

   Es crítico que antes de iniciar el estudio se conozcan los caminos o senderos que utilizan los animales. Para ello es recomendable tener un estudio prospectivo siguiendo las recomendaciones de Medellín y colaboradores (2006).

4. **El personal**

   Asegurarse de que se dispondrá del personal suficiente, en número y entrenamiento, para instalar, revisar y recoger todas las cámaras. La parte más laboriosa durante la etapa de campo es probablemente la instalación de las cámaras. Debe ponerse gran cuidado en evaluar y considerar todas las recomendaciones y aplicar el sentido común para adaptarlas a las condiciones particulares de su sitio de trabajo.

5. El número de trampas-cámara

Dependerá de la especie focal del estudio, del hábitat, los objetivos y el balance de costos. Un estudio puede requerir desde algunas docenas de cámaras hasta un ciento o más. Para sugerencias específicas de números de cámaras consultar a Chávez y colaboradores (2007) y el capítulo IV sección 6 de este manual.

6. Georeferencia de las estaciones

Cada estación colocada deberá ser geo-referenciada. Esto es muy importante para analizar espacialmente los datos en el laboratorio. Es importante tener claro con qué sistema y tipo de coordenadas está configurado el aparato geoposicionador (GPS) para evitar errores a la hora de los análisis, por ejemplo si se registra la posición en grados decimales, en grados, minutos y segundos o en unidades transversales de Mercator (UTM).

7. La importancia de un estudio piloto

Si no se conoce el sitio o el equipo a detalle es importante considerar un estudio piloto. Entre las ventajas de realizar un estudio piloto están las siguientes (modificado de Silver, 2004):

Experiencia con el manejo del equipo. La gente que participará en el monitoreo se familiarizará con el equipo. Esto evitará la pérdida de información importante minimizando errores tales como una colocación inadecuada de las cámaras. Los errores en la colocación de las cámaras son de los más comunes, por lo que, dado el esfuerzo y los recursos invertidos, es muy conveniente acumular experiencia que permita estar bien preparados para instalar el equipo de manera adecuada.

Obtención de la tasa de captura de la especie de interés. Por medio de un estudio piloto podremos evaluar el esfuerzo de muestreo necesario para obtener una fotografía de nuestra especie de interés. Por ejemplo ¿cuántos días trampa son necesarios para obtener una foto de jaguar? ¿Podemos estimar una medida de la abundancia relativa?

Evaluar el esfuerzo de revisión. El tiempo en que se agotan las baterías, rollos o tarjetas de memoria en las trampas-cámara dependerán de un sinnúmero de factores. Hacer un muestreo piloto nos permitirá calcular el tiempo necesario de revisión de las estaciones de foto-trampeo en cada sitio cuando se está trabajando de manera continua durante varios días.

Capacitación de asistentes de campo. Mediante un estudio piloto es posible capacitar al personal de campo para garantizar el éxito del muestreo y del proyecto mismo (figura 21).

Figura 21. Capacitación del personal de campo para el uso de las trampas-cámaras en el Ejido Noh Bec. Foto: C. Chávez.

III. **Diseño de muestreo**

La detección de un individuo o de una especie por medio de los métodos descritos en el capítulo anterior es sólo la punta de una gran montaña de información que permite analizar y comprender tanto los aspectos espaciales (distribución y abundancia) como temporales (si el muestreo es realizado en varias temporadas) ligados a los cambios que pueden presentar las poblaciones de mamíferos terrestres. Actualmente contamos con una vasta bibliografía que de manera detallada aborda los aspectos fundamentales del establecimiento de programas de muestreo y monitoreo de mamíferos (Thompson *et al.,* 1998; Yoccoz *et al.,* 2001; Pollock *et al.,* 2002), por lo que aquí sólo mencionaremos los puntos más importantes.

Para empezar, una investigación requiere ser planificada en función de las preguntas que se quieran resolver, tanto para ahorrar tiempo, dinero y esfuerzo, como para maximizar la cantidad de información obtenida. Revisar exhaustivamente la bibliografía disponible de la(s) especie(s) de interés, referente a la localidad de estudio o a lugares parecidos, nos permitirá conocer mejor la especie y entender el contexto del problema a resolver, logrando tener claro qué se pretende conseguir con esta información (los objetivos) y cuál es la mejor vía para lograr esos objetivos (el diseño de muestreo). También permitirá identificar los métodos analíticos apropiados para dicho diseño y disminuirá la probabilidad de cometer errores. Si se dispone de poca información, revisar la literatura sobre especies similares o filogenéticamente cercanas también puede ser útil.

Un muestreo puede definirse como un intento o un conjunto de intentos para detectar a una especie o grupo de especies en una o varias localidades, con el objetivo de determinar su presencia, conocer su distribución, uso del hábitat o tamaño poblacional. Los objetivos básicos o principales de un muestreo son registrar la presencia de la(s) especie(s), así como su abundancia relativa y absoluta. Otros objetivos de muestreo son denominados objetivos secundarios, los cuales serán alcanzados con la colecta de datos complementarios o análisis adicionales. Ejemplos de objetivos secundarios son carac-

terizar la dieta y la conducta, estimar la supervivencia, evaluar la estructura genética de una población o evaluar los movimientos de las especies crípticas o raras. En función de estos objetivos podemos seleccionar el tipo de muestreo más adecuado, pero en general un mayor número de muestras permite obtener mejores estimaciones de los parámetros poblacionales (cuadro 2).

a] Evaluación de la presencia/ausencia

Como una primera aproximación en el diseño e instrumentación de medidas de conservación y manejo de la fauna silvestre es posible utilizar los patrones generales de distribución y de cambio en la abundancia de las especies. Para ello pueden realizarse conteos rápidos, sencillos y baratos (cuadro 2).

Cuadro 2. Métodos más apropiados para alcanzar los objetivos principales del muestreo de la(s) especie(s) de interés. Las características y requerimientos de los diferentes tipos de muestreo se muestran en el cuadro 1.

Tipo de muestreo	No formal	Formal	Formal sistemático	Formal sistemático
			Abundancia relativa	Abundancia absoluta
Detección de la presencia/ausencia de la(s) especie(s) en un área definida	X	X	X	X
Mapa de distribución a escala regional (municipio, provincia, país)	X*	X	X	
Determinación del área ocupada por la especie		X	X	X*
Determinación de la abundancia de la especie en diferentes áreas o en un momento determinado		X	X	X
Detección de cambios en la distribución espacial en la escala regional (p. ej. entre municipios)			X	X
Evaluación de la influencia de la presencia de otras especies (como presas) o de los cambios en la estructura del hábitat			X	X
Análisis de las relaciones con el hábitat o modelos espacialmente explícitos (registros u ocupación)			X	X
Estimación de la densidad absoluta de la especie en un área determinada				X

* El objetivo se puede cumplir con este tipo de muestreo, pero no sería conveniente debido a la ineficiente relación entre información obtenida y recursos invertidos.

El muestreo básico consiste en investigar en una sola localidad o región la presencia de al menos un individuo de la(s) especie(s) de interés. Un ejemplo puede ser un estudio titulado "*Evaluación de la distribución de los linces (*Lynx rufus*) en el Ajusco*". Tales estudios, realizados en muchas localidades, nos darán las herramientas para crear los mapas que documenten la presencia de la especie. Este tipo de estudios tiene que ser realizado con base en una serie de recomendaciones relacionadas con la forma en que se seleccionan las localidades de muestreo, qué tan separadas tienen que estar y cuántas veces tienen que ser muestreadas. Es posible trabajar en múltiples localidades para evaluar qué proporción de la región es ocupada por la(s) especie(s) (estimación de uso). Finalmente, si incluimos variables ambientales que puedan estar relacionadas a la presencia de la(s) especie(s) en cada localidad, podremos modelar la relación espacial entre los registros y dichas variables, y estimar cuál es la precisión con la que se puede predecir la distribución actual de la especie (Phillips *et al.,* 2006, Elith *et al.,* 2006).

b] Distribución y ocupación

La documentación de la distribución y la presencia de fauna silvestre en una región en particular debe utilizar una unidad de muestreo estándar que puede ser replicada varias veces dentro del área de estudio. El número y la distribución de estas unidades de muestreo depende de: 1) el tamaño del área de estudio y el área de actividad de la especie de interés; y 2) un compromiso entre el número de unidades (dentro de las cuales se ubican las estaciones) y la duración del muestreo.

Si el área de estudio es más pequeña que el área de actividad promedio de la especie de interés, tal vez no pueda registrarse su presencia, ya que los individuos pueden usar diferencialmente el área seleccionada, en cuyo caso es recomendable muestrear dentro y fuera del área de interés (figura 22). Efectivamente, la no detección de la especie en el área de estudio durante el tiempo de muestreo puede ser una consecuencia de que esta área sólo incluye una pequeña porción del área de actividad de los individuos residentes (Zielinski *et al.,* 1995).

Por otro lado, el número de estaciones usadas en cada unidad de muestreo debe representar un balance entre la colecta de los mejores datos posibles y el uso más eficiente de un número limitado de recursos (p. ej. trampas-cámara; figura 23). Colocar más estaciones dentro de una unidad de muestreo puede incrementar la probabilidad de detección y reducir el tiempo requerido para que la especie de interés sea detectada (denominado '*tiempo de latencia para la primera detección*' ó TLPD). El TLPD puede también reducirse si se utilizan atrayentes o se ocupan senderos de cacería o corredores riparios. Varias estaciones de foto-trampeo por unidad de muestreo disminuyen la pérdida de datos en caso de un mal funcionamiento de las trampas-cámara. Sin embargo, debido al costo del equipo la mayoría de los estudios usan de dos a tres cámaras por unidad de muestreo,

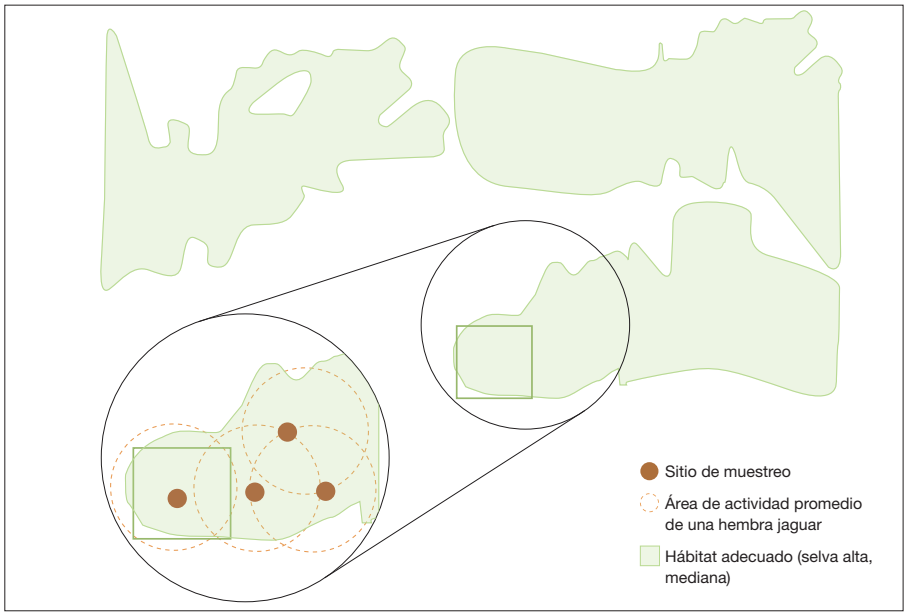

Figura 22. Muestreo hipotético de jaguares en una región, en el que existe un área de interés más pequeña que el área de actividad de la especie. Además, los sitios de muestreo se encuentran localizados dentro y fuera del área de muestreo seleccionada.

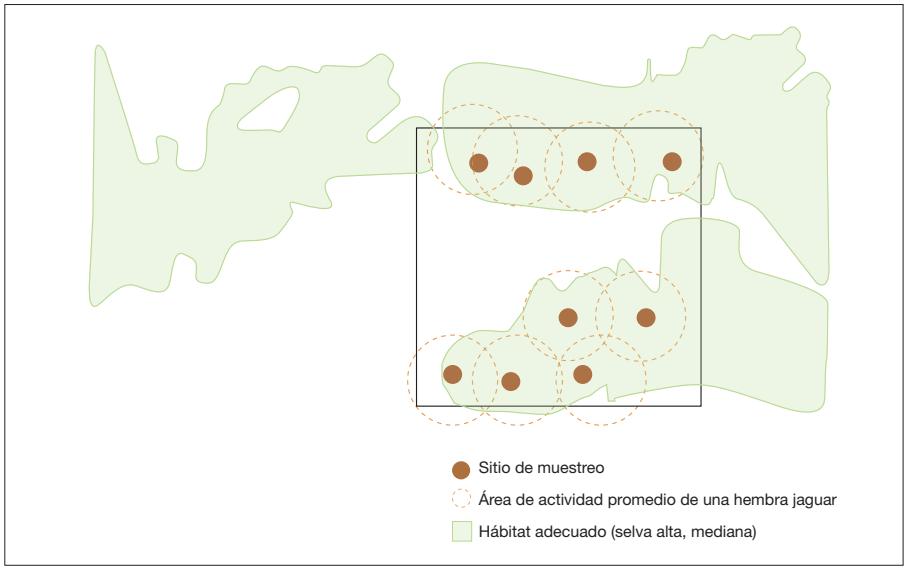

Figura 23. En contraste con la figura 22, ubicación hipotética de una sola estación para el jaguar en la cual el área de interés es más grande que el área de actividad de la especie. Además, los esfuerzos de detección se encuentran concentrados dentro del perímetro del área de interés.

con un arreglo de transecto o alrededor de un punto central (Kucera *et al.,* 1995; Gompper *et al.,* 2006; Zielinski y Stauffer, 1996; figura 24).

La definición del tamaño del área que se cubrirá con las estaciones de muestreo también es producto de una relación costo/beneficio. En general es mejor cubrir áreas relativamente pequeñas pero bien muestreadas y replicar varias veces las unidades de muestreo, que cubrir áreas grandes y que éstas estén pobremente muestreadas. Asimismo un mayor número de estaciones y unidades de muestreo en una misma temporada es mejor, ya que esto permite analizar la variación espacial sin el efecto de la variación temporal. Sin embargo, esto es comúnmente difícil de lograr, lo que hace necesario reducir el tiempo de permanencia de las estaciones; en esos casos, para controlar el efecto de un muestreo realizado en diferentes tiempos se recomienda seleccionar al azar las unidades de muestreo y distribuirlas en por lo menos dos etapas, consideradas como réplicas (figura 25).

Figura 24. Figura 24. Estación de muestreo con dos trampas-cámara colocadas en un transecto para diluir el efecto de pérdida de datos ocasionado por el mal funcionamiento de las trampas-cámara. Foto: C. Chávez.

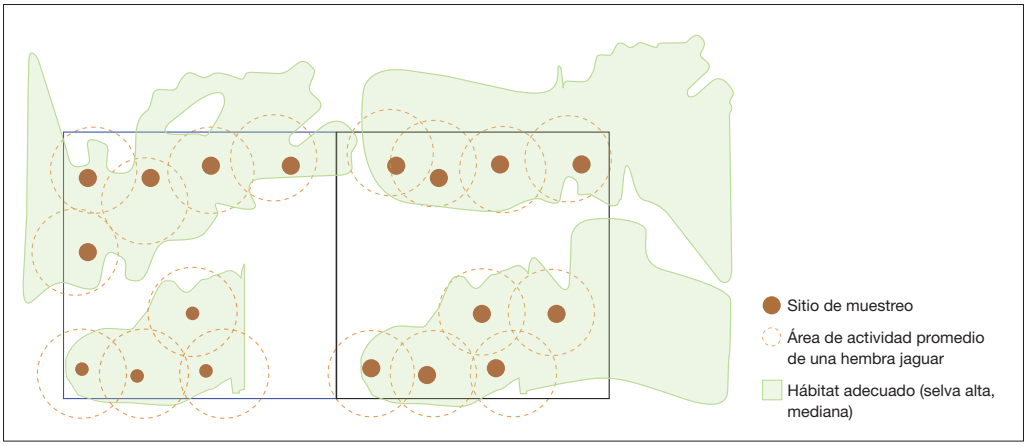

Figura 25. Diseño de muestreo hipotético dividido en dos etapas. En ambas se muestrean 9 estaciones.

Dependiendo de los objetivos del estudio puede asumirse o no la premisa de que se trata de una población 'cerrada' (sin inmigración ni emigración). Adicionalmente, la duración del muestreo se verá afectada por el tipo de condición (con atrayente / sin atrayente), el número de estaciones de muestreo (o subunidades) dentro de una unidad de muestreo, el tamaño de la unidad de muestreo y la densidad local de los animales.

c] Muestreo de especies comunes y raras

Debido a los diversos tamaños corporales y áreas de actividad de las distintas especies de mamíferos, algunas de ellas tienen densidades más bajas que otras. Por ejemplo, la densidad de jaguares y pumas es más baja que la de ocelotes y yaguarundis (figura 26). Es por esto que la tasa de detección de cada especie es diferente, independientemente del método que se utilice. En general, el esfuerzo de muestreo tiene que ser mayor para la detección de especies raras cuyas densidades son bajas. Al momento de desarrollar un diseño de muestreo es importante considerar:

Figura 26. Tamaños corporales de las especies de gatos grandes como A) jaguares y B) pumas, en comparación con especies pequeñas como C) margay y D) zorra gris. Fotos: C. Chávez.

1. Objetivos

Algunos objetivos pueden ser inviables, tanto para especies raras como para comunes, debido al gran esfuerzo requerido. Por ejemplo, la estimación de la abundancia absoluta por medio de captura-recaptura puede ser poco viable para especies raras; en cambio las especies comunes pueden ser ubicuas (encontrarse en todos lados) y aspectos como su distribución y ocupación pueden ser estimables.

2. Tasas de visita

Las tasas de visita están parcialmente asociadas a la abundancia, por lo que pueden ser útiles para hacer estimaciones en el caso de las especies que visitan con más frecuencia las estaciones de muestreo, pero pueden ser inadecuadas para aquellas especies que presentan bajos números de visita en las estaciones. Estas tasas son afectadas por el tipo de diseño empleado, sobre todo cuando se trata de especies raras. Numerosos estudios señalan que los índices de abundancia relativa y los estimadores de ocupación (que incluyen las tasas de visita) pueden ser imprecisos si la especie de interés no es detectada en un mínimo de 20 a 30% de las unidades de muestreo (Roughton y Sweeny, 1982; Sargeant *et al.,* 2003), pero este nivel de detección puede ser difícil de conseguir para especies raras fuera de un considerable esfuerzo de muestreo. Además, la estimación de la abundancia relativa de la mayoría de las especies puede verse afectada por una alta probabilidad de detección de algunos individuos en particular, lo que vuelve imprecisos los datos. Por ejemplo, una mayor movilidad de los machos en comparación con las hembras puede ocasionar que éstos sean más frecuentemente detectados. Cuando las densidades poblacionales son extremadamente bajas, también puede presentarse un pico de detecciones en una estación de muestreo en particular, debido a la reiterada detección del mismo individuo (Williams *et al.,* 2002). Además, las densidades bajas limitan la aplicación de métodos basados en la variación de la probabilidad de detección para estimar la abundancia (Royle y Nichols, 2003).

3. Distribución óptima del esfuerzo de muestreo

La rareza de las especies está relacionada con factores tanto temporales como espaciales, de tal modo que para alcanzar el mismo objetivo se pueden requerir diferentes diseños según se trate de especies raras o comunes. La estimación del área de ocupación de una especie rara demanda mayor número de sitios de muestreo, por lo que comúnmente tendrá que reducirse el número de muestreos en cada estación y, en cambio, aumentar el número de estaciones

para elevar las probabilidades de detección (figura 27). Otra opción es alargar la permanencia de las estaciones esperando obtener el evento de detección. También es posible aumentar el área de muestreo en función del número de individuos que pueden ser potencialmente fotografiados. Por otro lado, cuando se muestrean pocos sitios las detecciones pueden estar sesgadas a aquellas especies que comúnmente utilizan los sitios donde se colocaron las estaciones (Thompson, 2004).

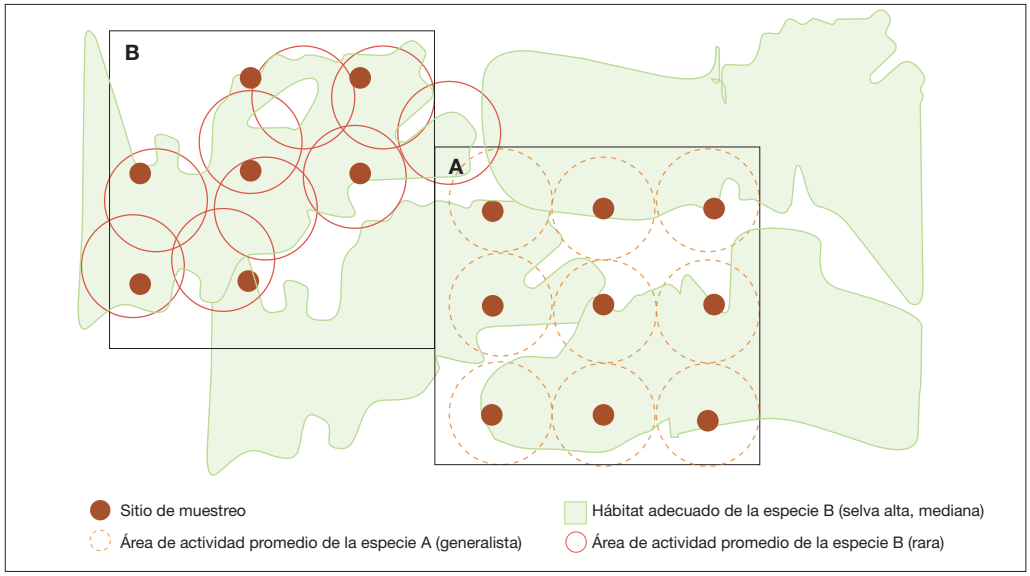

Figura 27. Distribución hipotética de estaciones de muestreo para A) una especie común y B) una especie rara o escasa con áreas de actividad del mismo tamaño. Nótese que en ambos casos se trata de un muestreo sistemático. Para que la especie rara contara con 9 estaciones de muestreo sería necesario muestrear un área mayor, ya que el hábitat adecuado para dicha especie está poco representado en el área de interés; esto implica que probablemente sea necesario hacer un diseño adecuado para obtener el mismo tamaño de muestra que la especie común, como círculos combinados con triángulos lo cual permite tener el mismo número de áreas de actividad.

4. Relación entre rareza y hábitat específico

Las especies comunes suelen ser generalistas en la selección de su hábitat, por lo que esta relación débil entre presencia y tipos de hábitat puede limitar el desarrollo de modelos predictivos de presencia de estas especies (Sargeant *et al.,* 2005). En cambio, muchas especies con hábitats específicos serán más abundantes en los sitios donde se presentan las mejores condiciones para su sobrevivencia, por lo que su distribución y abundancia estarán estrechamente ligadas a la estabilidad espacio-temporal de esas condiciones.

d] Sugerencias para el diseño de muestreo

Tomando en consideración la información anterior sugerimos a continuación una serie de pasos para diseñar un muestreo de mamíferos terrestres, enfatizando el uso de las trampas-cámara:

1. Tener claros los objetivos del muestreo. La falta de claridad puede derivar en datos inadecuados y, en consecuencia, pueden no alcanzarse los objetivos.
2. Definir objetivos realistas y determinar los métodos adecuados. La mayoría de los muestreos requieren más esfuerzo de lo que típicamente se espera y, en algunos casos como captura-recaptura, pueden ser poco realistas dados los recursos financieros, de equipo y el tiempo disponibles para su realización.
3. Contar con el mayor conocimiento posible de la especie interés o, en su defecto, de especies que pudieran tener patrones de distribución o conductuales similares. Esta información es fundamental para realizar un muestreo dirigido.
4. Evitar realizar muestreos en una sola localidad o sitio. Es mejor considerar una perspectiva regional, sobre todo cuando se trata de especies que tienen áreas de actividad muy grandes, como el jaguar. Este enfoque puede aportar también una visión de las metas más específica. Sin embargo, hay que recordar que una mayor generalidad conlleva menor precisión en las observaciones.
5. Tener un mapa del área de estudio lo más detallado posible. Conocer los caminos, senderos, tipos de vegetación, cuerpos de agua, etc., ayudará a optimizar el diseño de muestreo (figura 28).

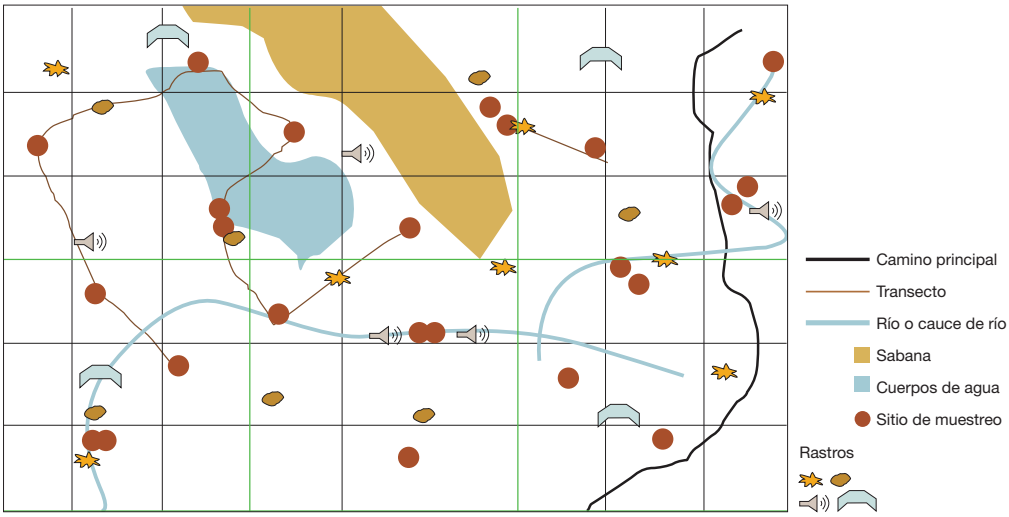

Figura 28. Mapa hipotético de un área de estudio donde se enfatiza la presencia de caminos, rastros, senderos y cuerpos de agua donde pueden ser colocadas las estaciones de muestreo.

6. Maximizar la probabilidad de detección de la especie de interés o, en el caso de métodos presencia/ausencia, maximizar la detección de los individuos. Para ello se deben tener en cuenta los rastros que dejan los animales (rascaderos, huellas, excrementos, etc.). Hay que recordar que estos rastros pueden ser marcas de determinados individuos dejados para delimitar áreas, por lo que será necesario balancear este tipo de eventos para que la información no esté sesgada a un grupo específico de animales (sean individuos o una especie en particular).
7. Si sólo se busca determinar la ocupación es necesario contar con varias repeticiones de las unidades de muestreo en el área de estudio, ya sea espaciales o temporales, para asegurar que por lo menos 10% de ellas tengan registros de presencia de la especie.
8. Cuando se realizan muestreos de ocupación no invasivos o de captura-recaptura (como con trampas-cámara) se debe tratar de minimizar la heterogeneidad del muestreo entre las unidades. Adicionalmente, identificar los factores que pueden causar heterogeneidad en el muestreo y que son sujetos de ser incluidos en el análisis de datos (p. ej. tipo de vegetación).
9. Estratificar el muestreo (por ejemplo, considerando tipos de vegetación, cuerpos de agua y relieve (rocoso, plano, etc.). Es importante mencionar que en algunos estudios la ubicación de las celdas se decide al azar (o con hábitats adecuados y no adecuados para la especie de interés), mientras que las unidades o subunidades son elegidas con base en evidencias dejadas por la especie.
10. Hay que enfatizar que uno debe de tomar en cuenta las suposiciones que se hacen entre la independencia de las sub unidades, unidades, celdas, sitios, además de las ocasiones de muestreo, entre otras cosas.
11. No usar medidas de abundancia relativa si éste no es el objetivo y especialmente si el método no lo permite. Los métodos de abundancia relativa requieren conocer la relación entre los índices y la verdadera abundancia, lo cual es muchas veces extremadamente difícil o imposible.
12. Los métodos de abundancia relativa pueden ser usados para monitorear el tamaño poblacional y si éstos son usados con otros datos independientes la estimación se vuelve más sólida.
13. Deben priorizarse los diseños simples (tomando en cuenta el principio de parsimonia) en comparación con diseños muy elaborados.

IV. **Estudio de caso:** el Censo Nacional del Jaguar y sus Presas

El Censo Nacional del Jaguar y sus Presas (CENJAGUAR) es un ejemplo de la utilidad de las trampas-cámara para evaluar la abundancia poblacional de una especie rara -como es el jaguar- y de un grupo de especies de diferentes tamaños corporales -las presas potenciales del jaguar (Chávez *et al.,* 2007). A continuación presentamos los pasos que se siguieron en el diseño de este censo, incluyendo su división en tres partes: una para jaguares y pumas, una para presas muy grandes (> 6.8 kg) y otra para especies grandes (1.3 - 6.7 kg); las últimas dos categorías representan la mayor proporción de la dieta de estos dos grandes felinos en México (Amín, 2004; Chávez *et al.,* en prep.).

a] Diseño del muestreo para estimar la densidad e identificar los individuos de jaguar

Para definir el tamaño y la forma del área de muestreo es necesario considerar: i] La realización de una evaluación preliminar de la presencia-ausencia del jaguar. El punto de partida para esta evaluación son las áreas prioritarias para la conservación del jaguar (Ceballos *et al.,* 2006b), en las que es necesario que cada investigador tenga reuniones previas con todas las instancias involucradas. Se deben realizar encuestas para recabar información básica entre la población local sobre las condiciones socioeconómicas y de conocimiento de la fauna. ii] La verificación de la existencia de una población. Esto se realizará mediante búsqueda de rastros y huellas, y uso de trampas-cámara.

En el diseño del CENJAGUAR se han tomado en cuenta los siguientes puntos:

1. Probabilidad de captura

Se trabaja bajo la premisa de que todos los individuos dentro del área de muestreo tienen la misma probabilidad de ser capturados (es decir, fotografia-

dos en una o más estaciones de trampeo durante el estudio). Por lo tanto, es importante considerar lo siguiente:

No huecos. El diseño tiene que asegurar que no existan huecos dentro del área de muestreo, evitando que un individuo pueda desplazarse dentro del área y no tenga probabilidad de ser fotografiado (figura 29).

Maximizar la probabilidad de captura. Dentro de cada celda de muestreo las estaciones deben ser colocadas estratégicamente para maximizar la probabilidad de los eventos de captura. Por ejemplo, cerca de rascaderos, huellas, excrementos, a lo largo de caminos de cacería o de cuerpos de agua, pasos de montañas, confluencias de valles, etc. Hay que considerar que ese tipo de eventos tienen que estar balanceados en la medida de lo posible para que no existan sesgos, por ejemplo, cuando los machos marcan su territorio por medio de rascaderos u otras marcas.

2. Tiempo y duración del muestreo

Temporalidad y acceso al área de estudio. En la mayor parte de los sitios el acceso al área de estudio es posible en la temporada de secas (enero-julio), sobre todo en los bosques tropicales (figura 30).

Duración. El tiempo en que las cámaras permanecerán activas será de 30 días consecutivos. Si se disponen de los recursos y el tiempo suficientes, será de 90

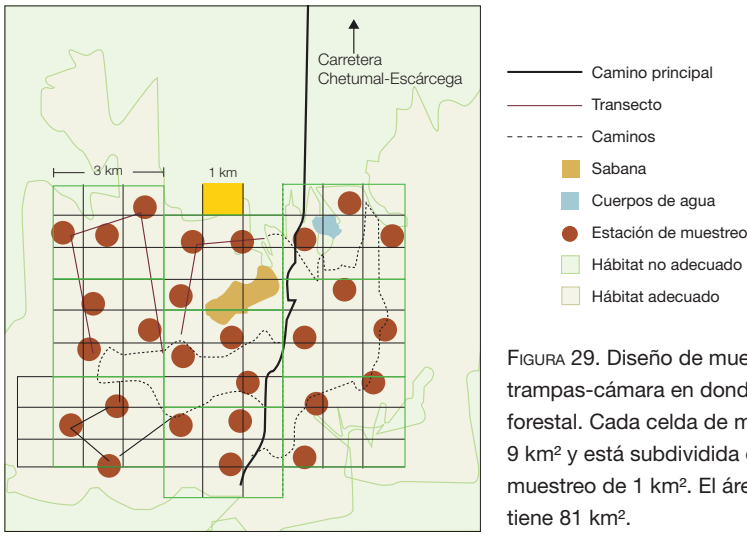

FIGURA 29. Diseño de muestreo hipotético con trampas-cámara en donde existe cobertura forestal. Cada celda de muestreo es de 9 km² y está subdividida en subunidades de muestreo de 1 km². El área total de muestreo tiene 81 km².

días máximo. Un periodo de muestreo superior a 90 días consecutivos puede violar el supuesto de población cerrada, así como el cambiar las estaciones de lugar periódicamente (Karanth y Nichols, 1998). Las curvas de acumulación de nuevos individuos (o nuevas especies, como ha sido modelado por muchos autores, véase Tjorve, 2003) muestran que el tiempo promedio para obtener una foto de los jaguares que frecuentan una estación de muestreo es de 20 a 30 días en ambientes tropicales y con base en el diseño descrito en este manual (C. Chávez, datos no publicados). Este tiempo de muestreo depende también de la conducta de los animales, por lo que es importante considerar el sitio donde se puso la estación de muestreo (e.g., camino, sendero, rastro, etc.).

Tiempo de revisión. El tiempo para revisar las cámaras será de un máximo de 10 días. En algunos sitios será importante hacerlo a intervalos más cortos dependiendo de las condiciones y del tipo de trampas-cámara utilizadas.

3. Esfuerzo del muestreo

Tiempo de colocación de las estaciones. Dependiendo del sitio (aunque probablemente se trate de ambientes con topografía accidentada) será de 2 a 10 días para colocarlas y de 2 a 8 días para retirarlas. Esto dependerá del número de personas que las manejarán y de su nivel de experiencia.
Número de estaciones por día. Lo ideal es que todas las estaciones se coloquen el mismo día, pero esto suele no ser logísticamente posible, por lo que en función de la distancia al campamento base, la accesibilidad, el tipo de

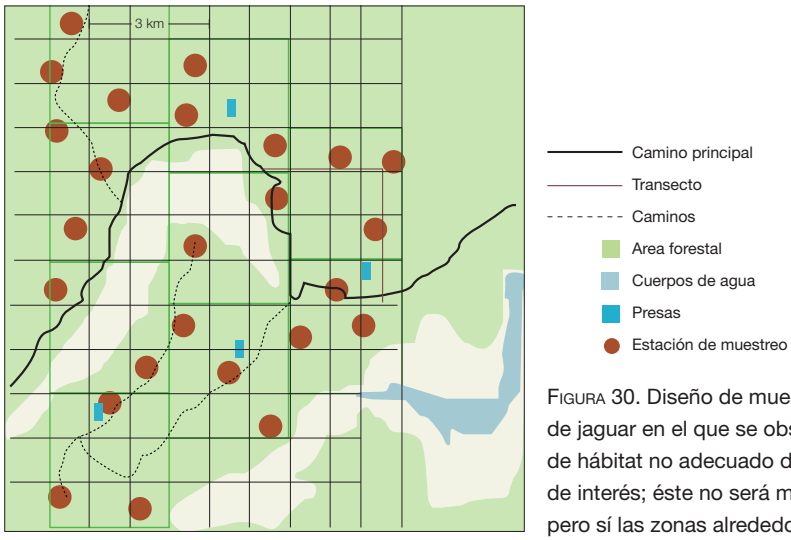

FIGURA 30. Diseño de muestreo hipotético de jaguar en el que se observa un tipo de hábitat no adecuado dentro del área de interés; éste no será muestreado, pero sí las zonas alrededor de él.

vegetación y el número de personas, entre otras cosas, se sugiere que como mínimo se coloquen 2 a 3 estaciones por persona o pareja por día.

Calibración de las estaciones. Planear en promedio 2 horas para calibrar y colocar cada trampa-cámara.

Colocación y retiro de las trampa-cámaras. Los días en que se coloca y retira el equipo no deben ser contados dentro del esfuerzo de muestreo.

4. Tamaño del área muestreada

Tamaño ideal. El programa CAPTURE funciona mejor y genera estimaciones más robustas con datos ≥ 15-20 individuos. Sin embargo, esto es poco factible en la mayoría de los casos en México, debido a la baja densidad del jaguar y a las limitaciones logísticas y económicas.

Tamaño sugerido. Se requerirá de un área mínima de muestreo de 81 km^2 (figura 30), pues la densidad mínima registrada para el jaguar es de menos de uno a 7-9 individuos por cada 100 km^2 (S. Ávila, com. pers.; Chávez 2006; Chávez *et al.,* 2007; Maffei *et al.*, 2007; Paviolo *et al.,* 2008; Rosas *et al.,* 2097; Maffei *et al.*, 2011).

5. Diseño del muestreo

La forma del área de muestreo puede determinarse con base en las limitaciones logísticas, recursos de equipo y financieros, disponibilidad del grupo de trabajo o bien por limitaciones biológicas como la densidad de jaguares o la calidad del hábitat.

Tipo de hábitat. Delimitar el área de muestreo considerando el hábitat adecuado y no adecuado para el jaguar. Un hábitat adecuado puede definirse como aquel que presenta cobertura forestal y donde existen evidencias de la presencia de jaguares, mientras que el hábitat no adecuado es aquel en el que existen pocas evidencias de la presencia de la especie. El hábitat no adecuado puede ser excluido del muestreo si tenemos evidencia de que los jaguares lo evitan (figura 31).

Área de muestreo. Se divide en celdas de igual tamaño y no más grandes que el área de actividad mínima de una hembra adulta. Para fines prácticos del CENJAGUAR la celda de muestreo es de 9 km^2 (figura 31) y su seguimiento dura de 20 a 40 días.

6. Distribución y número de las trampas-cámara

Número y separación entre estaciones. Idealmente cada celda cuenta con 9 subunidades cuadradas de 1 km². Sin embargo, debido a restricciones logísticas y de recursos, se sugiere muestrear sólo 3 de ellas, las cuales estarán espaciadas de 1 a 3 km. Dentro del área de 1 km² se selecciona el mejor sitio para la estación. Cuando la mayoría de las subunidades contienen hábitat no adecuado, dos estaciones de muestreo pueden quedar relativamente cercanas, pero en este caso no deben ser puestas a menos de 1 km (figura 29, 31). Es mejor si las estaciones pueden colocarse alternadamente, ya que esta disposición deja un mínimo de huecos entre ellas (figura 30).

Número ideal de estaciones de muestreo. El número de estaciones dependerá de nuestra capacidad logística, así como de los recursos disponibles. Por ejemplo, el estudio más importante sobre la ecología del puma se realizó en un área de 2 059 km² (Logan y Sweanor, 2001), lo que sugiere que el área adecuada para monitorear una población de jaguar va de 6 000 a 8 000 km², pero esto sería imposible pues se necesitarían más de 200 celdas de muestreo.

Número mínimo de estaciones. Se requieren mínimamente 27 estaciones en un área de 81 km², considerando 3 estaciones por cada celda de 9 km², que es el área de actividad mínima de una hembra de jaguar durante 20 a 60 días (C. Chávez, obs. pers.; Soisalo y Cavalcanti, 2006).

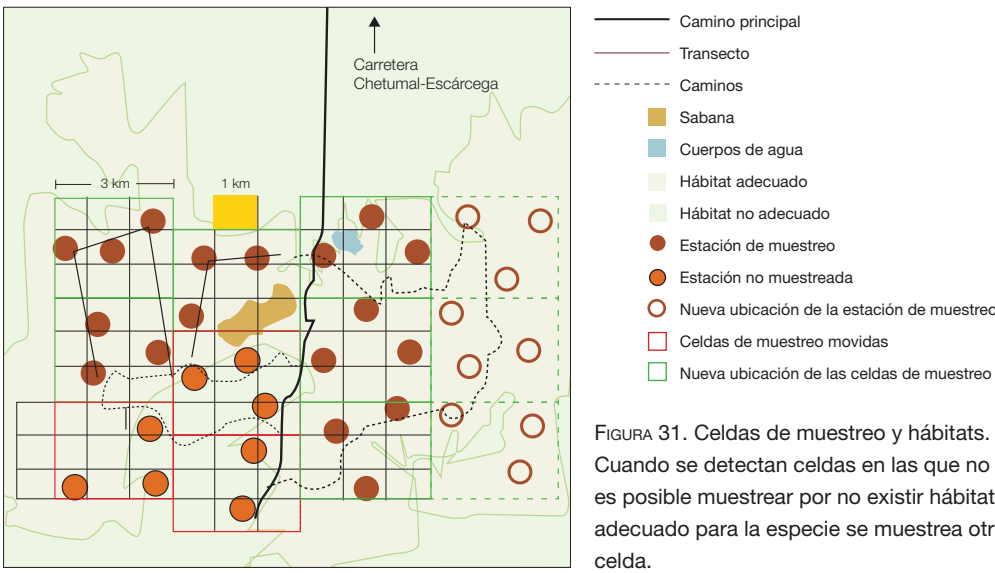

Figura 31. Celdas de muestreo y hábitats. Cuando se detectan celdas en las que no es posible muestrear por no existir hábitat adecuado para la especie se muestrea otra celda.

Número necesario de cámaras. De cada 3 estaciones de muestro, como mínimo una debe ser una estación doble (con dos trampas-cámara). Es decir, se necesitan 36 cámaras para la evaluación más simple de una población del jaguar, con un total de 27 estaciones (figuras 29 y 30). Negrões *et al*. (2011) presentaron un análisis sobre la conveniencia de que cada estación tenga una o dos cámaras para garantizar la captura fotográfica, y en el caso de los felinos moteados para fotografiar ambos flancos.

b] Diseño para presas muy grandes (>6.9 kg)

El muestreo con trampas-cámara nos ofrece también la posibilidad de estimar la abundancia relativa de las presas del jaguar, sobre todo en aquellas áreas donde los animales son difíciles de observar (figura 32). Los datos obtenidos serán usados para generar un índice de abundancia relativa para presas en términos del número de fotografías tomadas por esfuerzo de muestreo, por ejemplo el número de fotos de pecaríes/100 días trampa. Sin embargo, la relación entre el índice y la verdadera densidad o abundancia de presas permanece desconocida (Karanth *et al.*, 2002), sobre todo cuando no se pueden identificar correctamente los individuos o cuando éstos se comportan de manera grupal.

Debido a los hábitos conductuales de la mayoría de las presas potenciales del jaguar y al tamaño corporal de éstas, las especies grandes llegan a tener áreas de actividad mínimas de más de 1 km^2. Por ejemplo, las áreas de actividad de los coatíes van de 1.8 a 13.6 km^2 (Hass, 2002; Valenzuela y Ceballos, 2000).

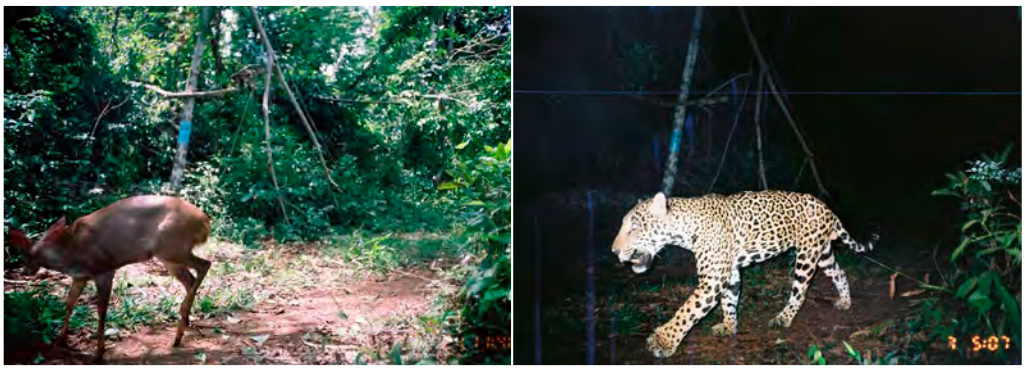

Figura 31. Fotografías de una presa muy grande, un temazate, y un jaguar en la misma estación de foto-trampeo. Fotos: C. Chávez.

Para definir el área de muestreo es necesario considerar lo siguiente: i] Se requieren los conocimientos básicos sobre los patrones conductuales de la ó las especies a muestrear, por ejemplo, qué tipos de vegetación usan, dónde han sido observados, qué evidencias o rastros de sus actividades dejan, etc. En algunos casos, puede ser necesaria una evaluación preliminar de la presencia-ausencia de las especies de interés en sitios predeterminados. Se deben realizar encuestas entre la población local para recabar información básica sobre las condiciones socioeconómicas y de conocimiento de la fauna en general. Para esto se tomará como base la evaluación sugerida en Medellín y colaboradores (2006). ii] Verificación de la existencia de una población. Ésta se realizará mediante la búsqueda de rastros y huellas, y con el uso de trampas cámaras. En este caso una estación de muestreo consistiría de una trampa-cámara puesta en un sitio. Para fines prácticos hemos seleccionado también celdas de muestreo de 9 km^2, divididas en subunidades de 1 km^2 dentro de las cuales se escogerá el sitio más adecuado para poner las trampas-cámara, considerando una separación mínima de un kilómetro entre ellas y preferentemente colocadas de manera alternada, aunque en algunos sitios esto puede no ser posible (figura 31).

Para estimar las abundancias de las presas muy grandes en el CENJAGUAR hemos tomado en cuenta las siguientes consideraciones, que son básicamente equivalentes a las que se han expuesto anteriormente:

1. **Probabilidad de captura**

   Todos los individuos o grupos de las especies de interés dentro del área de muestreo tienen la misma probabilidad de ser capturados o fotografiados en una o más estaciones de trampeo durante el estudio.

   No huecos. Se debe asegurar que no existan huecos dentro del área de muestreo para que un individuo no pueda desplazarse dentro del área sin ser fotografiado.

   Maximizar la probabilidad de captura. Dentro de cada subunidad, las estaciones deben ser colocadas estratégicamente para maximizar la probabilidad de los eventos de captura, por ejemplo, en madrigueras, donde hay excrementos, marcas de cuernos, rascaderos, a lo largo de caminos de fauna, cerca de cuerpos de agua, lugares de alimentación, etc., considerando que estos rastros deben estar balanceados para evitar sesgos. Por ejemplo, los venados machos pueden marcar su territorio con excrementos o marcas en los árboles.

2. Tiempo y duración del muestreo

Temporalidad y acceso a la zona de estudio. El acceso a las zonas de estudio puede ser complicado en ciertas temporadas, sobre todo en los bosques tropicales donde se presenta una intensa temporada de lluvias, por lo que usualmente se trabaja durante la temporada de secas (enero-julio).

Duración. Debe ajustarse a las áreas de actividad de las especies de interés. Por ejemplo, los pecaríes de collar tienen áreas de actividad promedio de 2 km^2, mientras que los pecaríes de labios blancos pueden tener áreas de actividad promedio de 10 km^2 durante la temporada seca, que se incrementa de 10% a 20% durante la temporada de lluvias (Keuroghlian *et al.,* 2004). Un número de 30 días consecutivos como mínimo podría ser adecuado, y si se disponen de los recursos y el tiempo, podría incrementarse hasta 90 días. Aunque el tiempo de permanencia de la estación depende de la conducta de los animales, es importante considerar el sitio donde se puso la estación de muestreo (e.g., camino, sendero, rastro, etc), ya que eso puede hacer que ocurra o no la detección de las especies de interés.

Tiempo de revisión. El tiempo para revisar las cámaras será de un máximo de 10 días. En algunos sitios será importante hacerlo a intervalos más cortos dependiendo de las condiciones, y del tipo de trampas-cámara utilizadas.

3. Esfuerzo del muestreo

Tiempo de colocación de las estaciones. Dependerá de la topografía y de los caminos de acceso en la región. En ambientes con topografía accidentada será de 2 a 10 días para colocarlas y de 2 a 8 para retirarlas. Esto depende también del número de personas que las colocarán.

Número de estaciones por día. Lo ideal es que todas las estaciones sean colocadas el mismo día; sin embargo, esto no es posible logísticamente (dado que depende de la distancia al campamento base, la accesibilidad, el tipo de vegetación y el número de personas, entre otras cosas) por lo que se sugiere que se instalen 3 a 6 estaciones por día.

Tiempo de colocación de las estaciones. Planear un promedio de 2 horas para calibrar y colocar cada trampa-cámara.

Colocación y retiro de las trampas-cámara. No deben ser contados dentro del esfuerzo de muestreo.

4. Tamaño del área muestreada

Tamaño ideal. Debido a que las áreas de actividad de los individuos o grupos son relativamente grandes y que la identificación individual resulta difícil, entre más grande sea el área, será mayor la independencia entre las observaciones. Se tendría que pensar en áreas donde se encuentren entre 15 y 20 individuos o manadas (por ejemplo, en el caso de pecaríes de collar y de labios blancos, áreas entre 40 y 200 km^2), además de que depende de la temporada y de la densidad. El tamaño ideal del área a muestrear puede verse afectado por las bajas densidades de las especies de interés o por que no existen los hábitats adecuados para ellas y, además, depende de las limitaciones logísticas y económicas.

Tamaño sugerido. Existen pocos estudios al respecto y algunos estudios sobre mamíferos en ambientes tropicales en los que se ha considerado distancias entre estaciones de 3 a 4 km (Souza *et al.,* 2007) o se han distribuido de forma aleatoria sin indicar la separación entre ellas, colocando tres estaciones en 124 has (Srbek-Araujo y Chiarello, 2005). Para fines prácticos, en el caso del CENJAGUAR se ha utilizado un área mínima de muestreo de 81 km^2.

5. Diseño del muestreo

La forma del área de muestreo puede ser determinada con base en las limitaciones logísticas, recursos de equipo y monetarios, disponibilidad del grupo de trabajo o la densidad de las especies de interés.

Tipo de hábitat. Es conveniente delimitar el área de muestreo dentro del hábitat adecuado, que es un área que presenta cobertura vegetal y evidencias del uso del hábitat por las especies de interés, mientras que uno no adecuado es aquel en el que existen muy pocas evidencias de su presencia.

Área de muestreo. Se divide en celdas de igual tamaño y no más grandes que el área de actividad mínima de una hembra adulta o manada de las especies de interés, aunque esto depende, del tiempo de muestreo, tipo de vegetación y disponibilidad de recursos, entre otras cosas (figura 33).

6. Distribución y número de las trampas-cámara

Número y separación entre estaciones. Cada celda de muestreo contiene 9 subunidades de un kilómetro cuadrado, en las que se colocarán por lo menos 3 estaciones espaciadas entre 1 y 3 km; sin embargo, aunque el número ideal debería ser nueve estaciones, el número de estaciones dependerá básicamente de la densidad y las áreas de actividad de las especies de interés. Como en algunos casos las estaciones de muestreo están dispuestas en lugares que son usados por otro tipo de fauna silvestre (por ejemplo presas) debemos registrar y mencionar que la estación fue colocada con base en las evidencias de uso de las especies de interés y/o de otras (figura 33).

Número ideal de estaciones de muestreo. Aunque idealmente deberíamos muestrear una fracción importante de la población —más de 20 individuos o manadas—, en algunos lugares esto puede ser logísticamente complicado y/o económicamente inviable. Por otro lado, hay que tomar en cuenta que los animales, sobre todo los grupales, pueden realizar movimientos a gran escala o moverse espacio-temporalmente, por lo que si las estaciones son desplazadas periódicamente o el tiempo de muestreo se extiende demasiado, podemos correr el riesgo de violar el supuesto de población cerrada. Sin embargo, debido a que la premisa de la población cerrada es muy fácil de violar, actualmente existe también la posibilidad de considerar en los análisis que se trata de una población abierta.

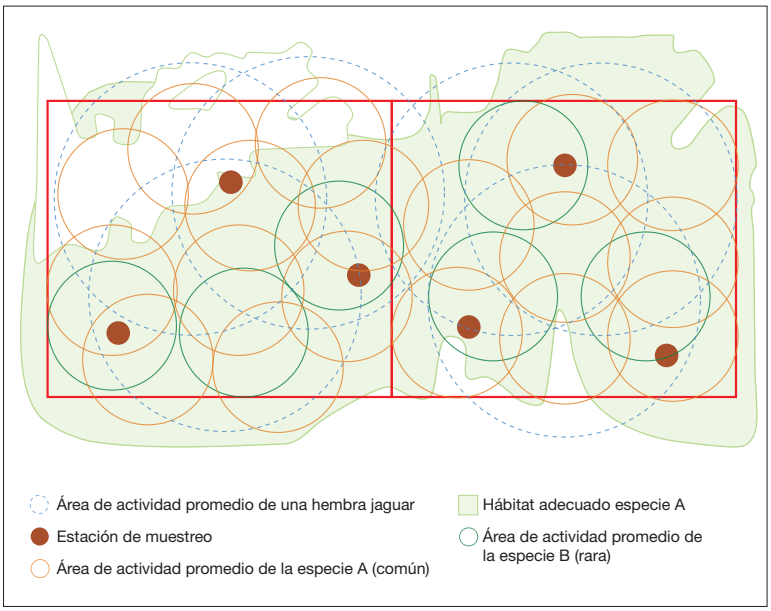

Figura 33. Dos celdas de muestreo utilizadas en el CENJAGUAR en donde se muestran las áreas de actividad de una hembra de jaguar y las de dos especies de mamíferos muy grandes, una común y otra rara. Nótese que en las estaciones de muestreo cambian las probabilidades de fotografiar a cada especie.

Número mínimo de estaciones. Tres estaciones por cada 9 km², que es el área de actividad mínima de una manada de pecaríes de labios blancos (figura 33). Si este dato se compara con el diseño para jaguares, se podrá ver que es el mismo número de estaciones, por lo que se sugiere que si existen los recursos y/o las evidencias, se coloquen más estaciones en determinada celda.

Número de cámaras necesario. Por cada 3 estaciones (en una celda de muestreo), mínimo una debe tener una estación doble (dos trampas-cámara); como mínimo se necesitan 36 cámaras para la evaluación más simple con un total de 27 estaciones.

c) Diseño para presas grandes (1.3-6.8 kg)

Para las especies que tienen áreas de actividad menores a 1 km², como el tepezcuintle (*Cuniculus paca*) cuya área de actividad en promedio es 0.03 km² (Beck-King *et al.,* 1999), se empleará otro diseño de muestreo, el cual consiste en celdas de 1 km² considerando subceldas de 0.2 km² (en total 9 subceldas, figuras 34 y 35). Existe una variante en la que se emplean 4 estaciones distribuidas en cuadros de 0.5 km de lado (área 0.25 km²) y separadas por lo menos 150 metros. En estos casos consideramos lo siguiente:

Figura 34. Especies de mamíferos de tamaño grande (1.3 a 6.8 kg). A) Armadillo (*Dasypus novemcinctus*) y B) sereté (*Dasyprocta punctata*). Fotos: C. Chávez y H. Zarza

1. Probabilidad de captura

Todos los individuos dentro del área de muestreo tienen la misma probabilidad de ser capturados (es decir, fotografiados en una o más estaciones de trampeo durante el estudio).

No huecos. El diseño tiene que asegurar que no existan huecos dentro del área de muestreo.

Maximizar la probabilidad de captura. Las trampas-cámara pueden ser colocadas estratégicamente para maximizar la probabilidad de los eventos de captura, por ejemplo, madrigueras, excrementos, rascaderos, a lo largo de caminos, cerca de cuerpos de agua, etc.

2. Tiempo y duración del muestreo

Duración. Las trampas-cámaras permanecerán activas 10 días, tiempo que tarda un tepezcuintle en moverse y cambiar su área de actividad (Beck-King *et al.,* 1999).

Tiempo de revisión. El tiempo para revisar y mover las cámaras es de 10 días. La puesta y la remoción de las trampas-cámara no deben de ser contadas dentro del esfuerzo de muestreo.

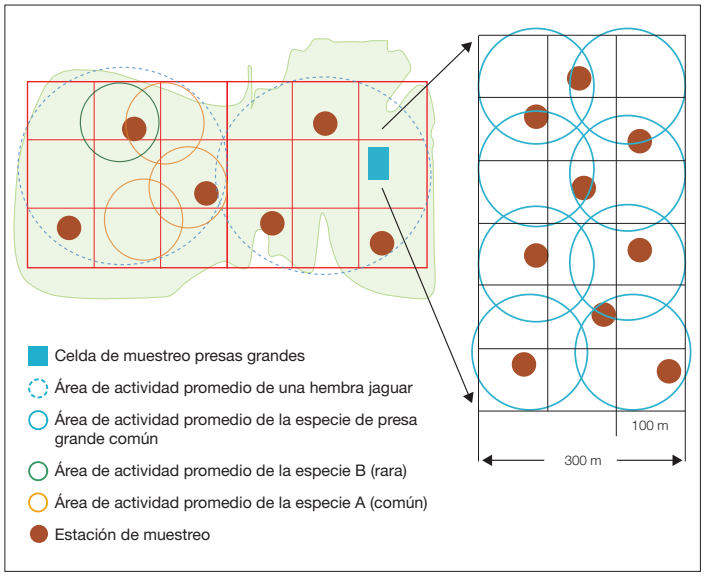

Figura 35. Se muestran distintas áreas de actividad y la distribución de las estaciones de muestreo para el caso de presas grandes (1.3-6.8 kg). Nótese que la probabilidad de fotografiar una presa se incrementa en este diseño en comparación con el diseño para jaguares.

3. Esfuerzo del muestreo

Tiempo de colocación de las estaciones. Dependiendo del sitio, en ambientes con topografía accidentada será de 1 a 2 días.

Número de estaciones por día. Deberán colocarse todas las estaciones (nueve) de la misma celda de muestreo en un mismo día, sobre todo aquellas que se encuentren lejos del campamento base. Esto depende mucho del tipo de vegetación y de la topografía del terreno.

Tiempo de colocación de las estaciones. En promedio 4 horas para poner cada celda de muestreo (0.2 km^2). En el caso de poner únicamente 4 estaciones de muestreo, el tiempo se reduce.

4. Tamaño del área muestreada

Tamaño ideal. El área propuesta es de 0.2 km^2, ya que esta es el área promedio de actividad mínima registrada para especies pequeñas con una masa corporal >0.7 kg (Beck-King *et al.,* 1999; Chew y Chew, 1970). Las densidades mínimas de este tipo de especies van de 4 a 11 individuos/km^2 (Silva y Downing, 1994). En el peor de los casos se tendría un mínimo de dos individuos fotografiados (figura 35).

5. Diseño del muestreo

Tipo de hábitat. Es necesario delimitar el área de muestreo dentro del hábitat adecuado y no adecuado para las especies de interés. Un hábitat adecuado es el que presenta cobertura forestal y evidencias de su uso por las especies de interés. En cambio, un hábitat no adecuado es aquel que no presenta cobertura forestal compleja y en el que no existen evidencias de las especies de interés. El hábitat no adecuado puede ser excluido del muestreo si existen evidencias o información regional que demuestre que es claramente evitado por las especies de interés.

Área de muestreo. Aunque el tamaño del área de muestreo puede ser determinado con base en los recursos financieros y de equipo, la disponibilidad del grupo de trabajo, etc., así como en la densidad de los potenciales depredadores, ésta deberá de ser similar en todos los sitios. En este caso sugerimos un área de 0.2 km^2 (figura 35).

6. Distribución y número de las trampas-cámara

Número y separación entre estaciones. Cada celda de muestreo tiene 9 subunidades separadas de 0.1 km a 0.3 km, cubriendo un área de 0.18 km^2 (figura 35). Se tomará como base una cuadrícula de 1 km^2. El área definida por 200 a 300 metros del borde del cuadro se considerará como área de influencia para poder contar todos los individuos que potencialmente tengan dentro de esta zona la mayor parte de su área de actividad. Así, tendremos un rectángulo de 0.3 km por 0.6 km, el cual estará reticulado cada 0.1 km como se ve en la figura 35.
En el modelo alternativo sólo se consideran cuadros de 0.25 km de lado, dentro de los cuales se busca el mejor sitio para colocar la trampa-cámara, considerando una distancia de 200 a 300 metros del borde del cuadro, y que las estaciones estén también separadas entre sí por una distancia de 100 a 300 metros.

Tipo de estaciones. Debido a los patrones conductuales de las especies y a que éstas no se distribuyen de manera aleatoria en el ambiente, se deben seleccionar las áreas con la vegetación más homogénea posible para reducir el sesgo. Se considerarán aspectos clave como áreas de actividad y patrones de uso del hábitat de las presas, así como su tamaño corporal, además de aspectos de historia natural que puedan influir en las áreas en las que se puedan encontrar. Estos aspectos no han sido determinados en otros estudios (e. g. Srbek-Araujo y Chiarello, 2005; Souza *et al.,* 2007).

Número de celdas de muestreo. Por lo menos debemos tener 2 celdas de muestreo por cada tipo de vegetación dominante en el área de estudio.

Número de cámaras. Todas las estaciones serán sencillas, por lo tanto se emplearán 9 cámaras.

Estimación de la abundancia relativa. podremos realizar una estimación de la abundancia dependiendo de algunas cuestiones básicas como la especie, el tipo de vegetación, las diferencias conductuales según los tipos de vegetación en los que se encuentran las especies y el número de fotografías independientes. Se considerará una foto independiente si han pasado 30 minutos de la siguiente foto de la misma especie (Srbek-Araujo y Chiarello, 2005). Si las fotos están separadas por más de 30 minutos, se asume que se trata de dos individuos diferentes, a menos que haya evidencia que demuestre que es el mismo animal o grupo de animales.

d) Consideraciones adicionales

En general, la forma del área de trampeo dependerá de la calidad del hábitat, la topografía, la ubicación de los caminos, ríos y senderos por donde se tendrá acceso. Se recomienda que el área de trampeo tenga una forma que reduzca el efecto de borde, para lo cual no debe quedar una celda de muestreo sin que otras dos estén a la par de ella (figuras 29 y 30). Recordemos que el tamaño del área de muestreo depende del sitio, la facilidad del traslado para colocar y revisar las cámaras, el número de cámaras y la densidad de los jaguares o de las especies de interés. Es fundamental señalar que entre mejor se conozca el área de estudio será más fácil poner las estaciones de muestreo, por lo que se recomienda realizar una visita prospectiva al área de estudio.

Una vez que se tiene identificada el área y las vías de acceso se pueden empezar a ubicar los probables sitios para las estaciones de trampas-cámara en un mapa, cuidando que no queden huecos sin muestrear. Los probables sitios se pueden geoposicionar y marcar en un mapa para después elegir la mejor distribución posible. En ciertos casos hay que abrir senderos para acceder a zonas donde quedaron huecos sin cámaras. Estos senderos deben ser abiertos con anticipación para que los animales se acostumbren a usarlos y no los eviten (figura 13). Es importante realizar una breve descripción del sitio y la toma de datos mínimos para cada estación de muestreo, información que nos ayudará a tener una caracterización efectiva de cada estación y que nos servirá para determinar a nivel regional los factores que pueden influir en la presencia o ausencia de los jaguares y de sus presas.

V. **Bases de datos y ordenamiento de las fotografías**

En este capítulo se proporcionan los lineamientos para ordenar los datos obtenidos de las trampas-cámara. En el CENJAGUAR existen coordinadores regionales y responsables de sitios, los cuales deberán seguir las siguientes recomendaciones para la toma de datos en campo y la organización de las fotografías antes de colocar las estaciones de fototrampeo:

i] Cada una de las cámaras deberá poseer una clave de identificación (ID), para poder establecer la relación con el sitio en el que estuvo colocada y las fotografías que capturó. Los modelos digitales permiten registrar en cada fotografía esta clave —que suele corresponder a la estación—, por lo que es recomendable configurar previamente cada cámara digital con su ID. Esta información es crucial, ya que al final del censo debemos tener la identificación de cada una de las cámaras para no perder información y que cada coordinador de grupo o la persona designada para ello pueda realizar el análisis.

ii] Para las trampas-cámara analógicas (de rollo) es necesario llevar un registro con la clave del sitio y el número de cámara. No es necesario imprimir todas las fotos, pues tras el revelado puede imprimirse una hoja de contacto y digitalizarse las fotografías de interés a una resolución adecuada para entonces poder seleccionarlas, lo que disminuye los costos.

iii] Es necesario asegurarse de que cada cámara está correctamente programada, por ejemplo con la fecha y la hora. Si las fotografías no están etiquetadas con la fecha y hora correcta no se podrá saber en qué momento fue tomada cada fotografía.

a] Caracterización de las estaciones

Para el análisis de los datos generados en el CENJAGUAR es necesario tener información general del sitio donde se colocó cada una de las estaciones de foto-trampeo. Esta información se recaba al momento de instalar cada estación (Apéndice 2):

Número de hoja. Colocar el número de la hoja de datos que se está utilizando; se debe llenar una hoja por estación.
Fecha. Día, mes y año en que se colocó la estación de foto-trampeo.
Subunidad de muestreo de 1 km^2. El número o código del cuadro o subunidad (p. ej. J1).
ID de estación. Clave o número de identificación de la estación de muestreo.
ID de la cámara. Clave o número de la cámara o cámaras.
Nombre del sitio. Nombre del sitio donde se encuentra la estación.
Localidad. Nombre del poblado o ejido, municipio y entidad donde se está trabajando.
Nombre. Nombre de la persona o personas que colocaron la estación y tomaron los datos.
Lat/Long o UTM. Coordenadas geográficas del lugar donde se colocó la estación.

Es necesario describir las características topográficas, el tipo de vegetación y las actividades antropogénicas observadas en el sitio donde se colocaron las estaciones de foto-trampeo. Para ello solamente es necesario marcar una opción en cada campo de la descripción.

Tipo de evidencia de jaguar. Ruta de paso, huellas, marca olorosa, excrementos, rascadero, carcasa, sendero, hechadero, otro.

Tipo de sendero. Bien definido, moderadamente bien definido, pobremente definido o difícil de ver.

Tipo de sustrato. Roca, grava, hojarasca, arena, grano fino.

Signos de presencia de presas. Especie y tipo de signo.
Posición en la pendiente. Abajo, mitad, superior.

Rugosidad de hábitat. Rocoso, escarpado, muy escarpado, plano o valle.

Factores topográficos. Loma, borde, pendiente, cima, valle, cerca, cuerpo de agua, roca.

Tipo de vegetación y uso de suelo. Bosques, arbustos, vegetación secundaria, sin vegetación, pastizal, cultivos, otro.

Temporada de uso del hábitat. Esto se refiere al uso que la gente da al sitio. Primavera, verano, invierno, otoño, todo el año, sin uso.

Presencia humana (incluyendo pastoreo). Diaria, una vez a la semana, rara vez.

Una vez que se tengan todos los datos de campo en los formatos (como se muestra en el Apéndice 2), es necesario llenar la base de datos con la información, la cual deberá estar organizada como a continuación se describe.

b] Organización de los datos

Esta parte deberá estar a cargo de cada responsable de sitio. Todas las fotografías obtenidas durante el foto-trampeo deberán ser ordenadas de la siguiente manera:

i] Todas las fotografías tomadas por una cámara tienen que estar digitalizadas y guardadas en una carpeta debidamente etiquetada. El nombre de la carpeta será el ID de la estación que corresponde. En total deben ser 36 carpetas para las cámaras utilizadas para el diseño de los jaguares y 54 carpetas para los datos obtenidos para el diseño de las presas.

ii] Cada fotografía debe tener como nombre de archivo un ID digital, en el que las primeras cuatro letras corresponden al nombre del sitio (CAOBA), seguido del código de cuadro (J1), letra de cámara (A), fecha (12-04-08) y número de foto (#01). Por ejemplo, CAOB_J1A_12-04-08_#01.

c] Base de datos de las fotografías

Con el objetivo de estandarizar la base de datos de todas las fotografías del monitoreo del jaguar y sus presas, así como proporcionar fuentes de información unificadas para los usuarios de la base de datos, los coordinadores de cada sitio enviarán los datos requeridos con el formato de la base de datos general. Se pide hacer una hoja de cálculo generada en Microsoft Excel® para las estaciones de jaguar y otra hoja de cálculo de presas. Ambas deberán estar organizadas en columnas con los siguientes campos:

ID_digital	Cuadro	Cámara	No. Rollo	Estado	Municipio	Ejido o poblado	Sitio
CAOB_J1A_12-04-08_#03	J1	A	15	QUINTANA ROO	OTHON P. BLANCO	CAOBA	ZONA FORESTAL

ID_digital Nombre del archivo de la fotografía

Cuadro El código del cuadro en el que se obtuvo la foto. Con el fin de distinguir fácilmente fotos de jaguar y de sus presas, los cuadros que corresponden a foto-trampeo de jaguar se denominan J1 a J9, mientras que si se trata de presas serán P1a P6, correspondientes al número de cuadros en los respectivos diseños.

Cámara La identificación de la cámara (A, B, C…) que obtuvo la foto. Los nueve cuadros de 1 km² tienen un código de letras propio para las cámaras.

A	B	C
D	E	F
G	H	I

Indicar la dirección de la cámara, Norte o Sur (N o S) dependiendo de su orientación. Esto es fundamental para distinguir las dos cámaras si se trata de una estación doble.

Tipo de cámara Marca del aparato (Camtrakker o Deercam).

No. de rollo Si se utiliza rollo fotográfico, anotar el número de identificación. Anotar el número de la tarjeta de memoria si es cámara digital.

Estado Nombre de la entidad, utilizar sólo mayúsculas.

Municipio Nombre del municipio, utilizar sólo mayúsculas.

Ejido o poblado Nombre del ejido o poblado, utilizar sólo mayúsculas.

Sitio Nombre del sitio, utilizar sólo mayúsculas.

Fecha colocación	Fecha remoción	Fecha foto	Hora
02-01-08	01-02-08	12-01-08	18:40

Fecha colocación Fecha en que fue instalada la cámara (dd-mm-aa)

Fecha remoción Fecha en que fue removida la cámara (dd-mm-aa)

Fecha foto Fecha en que fue tomada la fotografía (dd-mm-aa)

Hora Hora en que fue tomada la fotografía (24:00 hrs)

Orden	Familia	Especie	Nombre común	No. ind.	Sexo	INF 2000
CARNIVORA	FELIDAE	PANTHERA ONCA	JAGUAR	J_CAOB_02	MACHO	SAP

Orden Orden de la especie fotografiada, utilizar sólo mayúsculas.

Familia Familia de la especie fotografiada, utilizar sólo mayúsculas.

Especie Especie fotografiada, utilizar sólo mayúsculas.

Nombre común Nombre común de la especie fotografiada, utilizar sólo mayúsculas.

No. Individuo Identificación del individuo fotografiado (J para jaguares, P para pumas) seguido de clave de sitio y número de individuo. Por ejemplo J_CAOB_02

Sexo Si se identifica el sexo del individuo, indicarlo como MACHO, HEMBRA y utilizar sólo mayúsculas. De lo contrario indicar INDETERMINADO.

INF 2000 Indicar el tipo de vegetación utilizando el acrónimo del Inventario Nacional Forestal 2000-2001 en mayúsculas.

Latitud	Longitud	Altitud	Evento	Observaciones
202566.000	2029856.000	663	Independiente	Jaguar lastimado

Latitud/Longitud Coordenadas geográficas en unidades UTM o geográficas (grados decimales) del sitio donde se colocó la cámara.

Altitud Metros sobre el nivel del mar (msnm).

Evento Indicar si la fotografía es dependiente o independiente. Se consideran independientes las fotografías de individuos de la misma especie con un lapso entre capturas > 30 minutos, a excepción de los felinos donde el lapso deberá ser > 24 horas.

Observaciones Información relevante.

VI. **Análisis de datos**

En los últimos años se han desarrollado varios programas computacionales para analizar datos de especies silvestres a partir de modelos de captura-recaptura, varios de ellos están disponibles en la página web del Patuxent Wildlife Research Center <*www.mbr-pwrc.usgs.gov/software.html*>.

Para estimar los tamaños poblacionales con base en modelos de captura-recaptura bajo la suposición de población cerrada se utiliza usualmente el programa CAPTURE (White *et al.,* 1982, actualizado por Restad y Burnham, 1991). Los datos de captura son inicialmente analizados para probar el supuesto de población cerrada y para generar un resumen de la historia de captura. Posteriormente se realiza una serie de pruebas para ver el comportamiento y determinar cuál modelo se ajusta mejor a los datos. En esta etapa, los datos se corren con cada uno de los modelos y se asigna un valor de 0 a 1 a cada modelo, donde el valor más alto indica que el modelo tuvo un mejor comportamiento. Finalmente, el programa genera las estimaciones de los parámetros de la población y los intervalos de confianza dentro de cada modelo, mostrando los resultados en un archivo con formato ASCII. El programa y el manual para el usuario pueden obtenerse directamente de la Universidad de Colorado (Colorado State University) en el sitio web mantenido por el Dr. G.C. White <*www.cnr.colostate.edu/~gwhite/software.html*>.

Una vez realizada la correcta identificación de los individuos del foto-trampeo, el siguiente paso es definir la historia de captura de cada individuo, usando un formato de matriz para registrar la presencia del animal en cada cada ocasión de muestreo. Una ocasión de muestreo es definida como un día o un grupo particular de días.

Esta matriz considera cada individuo en un renglón y cada ocasión de muestreo en una columna. En la intersección de cada renglón y columna se registra “1” si el individuo fue capturado en dicha ocasión (independientemente del número de veces) o un “0” si no fue capturado durante la ocasión de muestreo.

Posteriormente, los valores de cada columna son sumados para determinar el número total de capturas de cada ocasión. Se define también el número de individuos que son capturados "por primera vez" en cada ocasión, y los que son "recapturados" ya que fueron identificados o "etiquetados" en una ocasión de muestreo previa. El cuadro 3 muestra un ejemplo hipotético de una historia de captura y el resumen de las capturas, que es el que permite calcular las probabilidades de captura y la estimación del tamaño poblacional con el programa CAPTURE (cuadro 4). Consulte en el sitio web previamente mencionado y el Apéndice 2-E las características necesarias de los archivos de entrada y corrida del programa CAPTURE.

Cabe mencionar que la prueba de población cerrada del programa CAPTURE no es estadísticamente robusta. Stanley y Burnham (1999 a,b) presentan una prueba de población cerrada para datos que son específicos en el tiempo dentro del programa CLOSURE (*www.mesc.usgs.gov/products/software/clostest/clostest.asp*), en el que se pone a prueba la hipótesis nula del modelo de población cerrada M_t considerando como hipótesis alternativa el modelo de población abierta Jolly-Seber. Esta prueba tiene sensibilidad intermedia a la inmigración permanente o temporal, es altamente sensible a la emigración permanente y poco sensible a la emigración temporal.

El programa CAPTURE ofrece 7 modelos diferentes para analizar el comportamiento de los datos y, una vez seleccionado el modelo que mejor se ajusta a nuestros datos, estimar el tamaño poblacional. El modelo más simple o nulo (M_0) no asume ninguna diferencia en la probabilidad de captura entre ocasiones de muestreo o individuos. El modelo

CUADRO 3. Ejemplo de una historia de captura. El "1" indica presencia y el "0" ausencia.

No. individuo	Ocasión de muestreo					
	1	2	3	4	5	6
J_CAOB_02	0	1	1	0	0	0
J_CAOB_03	1	1	1	0	1	0
J_CAOB_04	0	1	1	1	0	0

CUADRO 4. Resumen de captura-recaptura (derivado del cuadro 3).

Parámetro	Ocasión de muestreo					
	1	2	3	4	5	6
Número total de animales capturados (fotografiados)	1	3	3	1	1	0
Número total de individuos capturados en la ocasión de muestreo previa	0	1	3	3	1	1
Número de individuos nuevos capturados	1	2	0	0	0	0

de heterogeneidad (M_h) hace pruebas para identificar las diferencias en la probabilidad de captura entre individuos que pueden ser resultado de la accesibilidad a las estaciones de muestreo, dominancia social, o diferencias en la edad y el sexo (White *et al.,* 1982). El modelo de Schnabel o modelo de tiempo (M_t) asume diferencias en las probabilidades de captura entre diferentes ocasiones de muestreo o sesiones. El modelo de la respuesta de comportamiento al trampeo (M_b) permite diferenciar las probabilidades de captura entre individuos recién capturados y las probabilidades de captura subsecuentes debido a las experiencias de la primera captura desfavorables (trampofobia) o favorables (trampofilia). Un ejemplo de trampofobia consistiría en que algunos individuos evitaran las trampas-cámara como respuesta negativa al destello del flash en la captura inicial, lo que disminuiría la probabilidad de ser recapturados. Por el contrario, el empleo de cebos o atrayentes puede aumentar las probabilidades de captura de algunos individuos más que otros, en cuyo caso se presenta la trampofilia. El programa también combina estos modelos para examinar las interacciones de estos efectos, usando los estimadores M_{bh} (modelo de heterogeneidad y de respuesta al trampeo), M_{th} (modelo de heterogeneidad y de respuesta al tiempo), M_{tb} (modelo de respuesta al trampeo y al tiempo) y M_{tbh} (modelo de la heterogeneidad, del tiempo y de la respuesta a la trampa), para todos se requiere tamaños de muestra relativamente grandes.

El programa CAPTURE da un valor de 1.00 al modelo que mejor se ajusta a los datos, pero la selección final del modelo es relativa, por lo que existe un espacio para la interpretación. Sin embargo, se recomienda seleccionar los modelos con un valor ≥ 0.90, es decir, con un ajuste aceptable (Otis *et al.,* 1978).

Otis y colaboradores (1978) ofrecen una serie de pruebas para determinar qué modelo se ajusta mejor a nuestros datos (cuadro 5). Las pruebas 1 a 3 comparan la adecuación relativa del modelo nulo con los modelos específicos de heterogeneidad, comportamiento y tiempo, respectivamente. Las pruebas 4 a 7 analizan el ajuste de los modelos específicos. Es aconsejable que el lector se familiarice con la teoría leyendo las monografías especializadas sobre el tema (Otis *et al.,* 1978; White *et al.,* 1982) o se asesore con un estadístico de poblaciones.

Karanth y Nichols (2002) recomiendan seguir el modelo de heterogeneidad (M_h), ya que es el que más se ajusta al comportamiento de los grandes gatos solitarios, como en el caso del tigre. Esto se relaciona con el hecho de que la mayoría de los grandes gatos muestra algún grado de territorialidad asociado al tamaño de su área de actividad y el acceso a la trampa (y por ende, su probabilidad de ser capturado) puede variar en función de la posición social del individuo y de su ubicación espacial en el paisaje (Henschel y Ray, 2003). También se han registrado respuestas conductuales significativas en los tigres que indican trampofobia atribuidos al flash de la cámara y a la posible detección de las trampas-cámara debida a la presencia de camas de arena para la impresión de huellas ubicadas a 50 m de cada trampa (Wegge *et al.,* 2004). Finalmente, concluyeron que las

Cuadro 5. Pruebas aplicadas en el procedimiento de selección de modelo (tomado de Otis *et al.*, 1978).				
Prueba	Fuente de variación	Hipótesis nula	Hipótesis alternativas	Comentarios
1	Heterogeneidad en las probabilidades de captura de los individuos	El modelo Mo se ajusta a los datos	El modelo Mh se ajusta a los datos	Examina las frecuencias de las capturas para encontrar evidencias de la variabilidad en las probabilidades de captura entre individuos.
2	Respuesta a la trampa después de la primera captura	El modelo Mo se ajusta a los datos	El modelo Mb se ajusta a los datos	Examina gruesamente los efectos de la conducta en las probabilidades de recaptura.
3	Variación en el tiempo de la probabilidad de captura	El modelo Mo se ajusta a los datos	El modelo Mt se ajusta a los datos	Evalúa las variaciones en las probabilidades de captura entre ocasiones de muestreo.
4	Respuesta al trampeo y/o a la variación en el tiempo que dan heterogeneidad	El modelo Mh se ajusta a los datos	El modelo Mh no se ajusta a los datos	Si Mh es el mejor modelo, se espera que esta prueba no lo rechace. La prueba 1 debería favorecer Mh. Alternativamente, pruebas para la respuesta del trampeo o variación de tiempo, o para ambos, ya que puede haber grandes recapturas individuales.
5	Variación en el tiempo o heterogeneidad dadas por la respuesta al trampeo	El modelo Mb se ajusta a los datos	El modelo Mb no se ajusta a los datos	Si Mb representa el mejor modelo, se espera que esta prueba no lo rechace. La prueba no. 2 debe favorecer este modelo.
5a	Variación en el tiempo o heterogeneidad usando únicamente la primera captura	La probabilidad de la primera captura es constante	La probabilidad de la primera captura varía en el tiempo y/o individualmente	Pruebas idénticas para la prueba de buen ajuste del modelo, para el modelo simple de remoción.
5b	Variación en el tiempo o heterogeneidad usando únicamente las recapturas	Las probabilidades de las recapturas son constantes	Las probabilidades de las recapturas varían en el tiempo o individualmente	Si el modelo Mb es adecuado, la hipótesis nula no debe ser rechazada.

Cuadro 5. [concluye]				
Prueba	Fuente de variación	Hipótesis nula	Hipótesis alternativas	Comentarios
6	La respuesta al trampeo y/o a la heterogeneidad están dadas por la variación en el tiempo	El modelo Mt se ajusta a los datos	El modelo Mt no se ajusta a los datos	Si Mt es el mejor modelo, podemos esperar que en esta prueba no sea rechazado; se espera también que el modelo nulo M0 sea rechazado a favor de Mt en la prueba no. 3.
7	La respuesta al trampeo genera heterogeneidad	El modelo Mb se ajusta a los datos	El modelo Mbh se ajusta a los datos	Si Mh es rechazado a favor de Mbh, el estimador a ser usado es el del método de remoción generalizado.

estimaciones de la densidad poblacional estaban influenciadas de manera muy notoria por la distancia entre estaciones y la duración del trampeo.

Cabe mencionar que los modelos de captura también pueden ser evaluados con el programa de cómputo MARK, que ofrece valores considerablemente más robustos, pero requiere de tamaños de muestra grandes para el modelo parametrizado (véase *www.cnr.colostate.edu/~gwhite/mark/mark.htm*).

En resumen, el programa CAPTURE estima el tamaño de la población muestreada por medio de los siguientes pasos: 1] prueba si no se violaron los supuestos de captura-recaptura, incluyendo si la población monitoreada se comportó como una población cerrada; 2] revisa el historial de captura con varias pruebas de modelos estadísticos (M_0, M_h, M_b, M_t) para escoger el modelo más adecuado a los datos colectados; 3] estima la probabilidad de captura y el tamaño de la población o abundancia absoluta (*N*), con un error estándar y un intervalo de confianza.

Para obtener una estimación más precisa de la densidad poblacional es necesario definir el tamaño del área muestreada de la manera más precisa posible. En estudios en los que el muestreo se hace en parcelas (reticulados, cuadrículas) y en el largo plazo, el área muestreada no es necesariamente se define con base en el área cubierta por las trampas (Otis *et al.,* 1978), sino que se añade un área adicional al área de muestreo (para generar un área efectiva) para incluir aquellos individuos cuya área de actividad está representada de manera parcial en el área muestreada (Karanth y Nichols, 1998, 2002; Silver, 2004). El ancho del área adicional se calcula con el promedio de las distancias máximas de los individuos recapturados (*MDMM* por sus siglas en inglés). Es decir, se suman las distancias máximas recorridas por aquellos individuos que fueron fotografiados o recapturados en estaciones diferentes y se dividen entre el número de estos individuos. La mitad de este promedio (*MDMM/2*) se utiliza como el ancho del área añadida, que se aumenta en

el borde externo del perímetro del área de muestreo (Wilson y Anderson, 1985; Karanth y Nichols, 1998; Wallace *et al.,* 2003; Maffei *et al.,* 2004; Silver, 2004; Silver *et al.,* 2004).

Recientemente se ha propuesto utilizar el promedio de las distancias máximas (*MDMM*), en vez de sólo la mitad, ya que este enfoque se orienta más a la inclusión de las áreas de actividad de los individuos muestreados para estimar el ancho del área adicional. Si se utiliza el promedio de las distancias máximas de los individuos recapturados dividido entre dos (*MDMM/2*) se podría incurrir en una sobre-estimación de la densidad poblacional (Soisalo y Cavalcanti, 2006). Una vez calculada esta distancia, con ayuda de un sistema de información geográfica (SIG) es posible aumentar a nuestra área de muestreo el área adicional y con ello delimitar el área efectiva de muestreo de las trampas-cámara (figura 36).

La densidad poblacional estimada (*D*) de la especie de interés se define entonces como:

$D = N/A$

N = abundancia o tamaño poblacional calculado por CAPTURE o algún otro programa

A = área efectiva de muestreo en km², incluyendo el área adicional

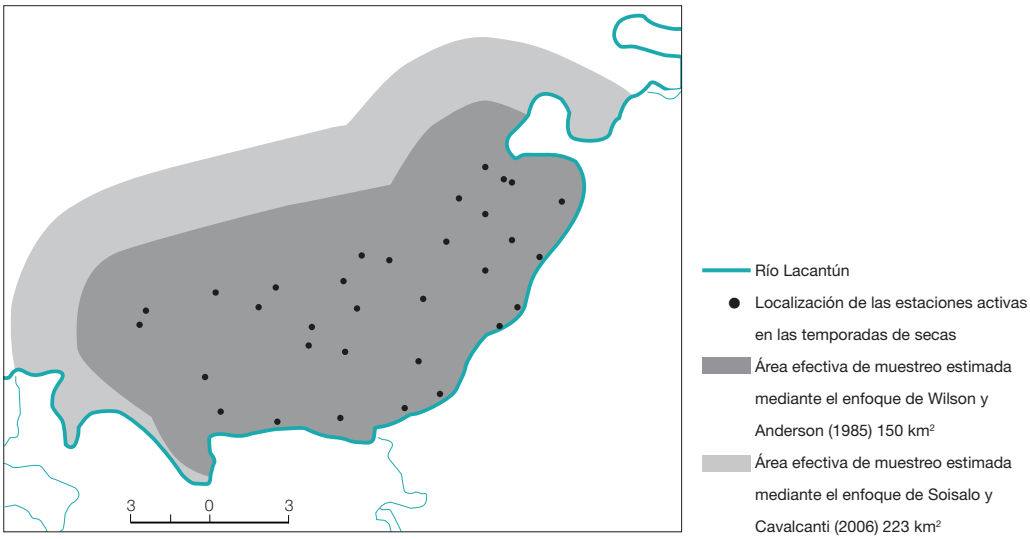

FIGURA 35. Estimación del área efectiva de muestreo. En la figura se muestra la localización de las estaciones de foto-trampeo en una temporada de muestreo de jaguares en la Selva Lacandona, Chiapas, México, y el área efectiva de muestreo estimada con dos enfoques.

Con el enfoque de Wilson y Anderson (1985) se utilizó la mitad del promedio de las distancias máximas entre recapturas (MMDM/2) para estimar el ancho del área adicional (2.5 km), obteniéndose un área efectiva de 150 km². Utilizando el enfoque de Soilsalo y Cavalcanti (2006) utilizamos solamente el promedio de las distancias máximas entre recapturas (MMMDM) para estimar el ancho del área adicional (5 km), lo que generó un área efectiva de muestreo de 223 km².

VII. **Consideraciones finales**

El monitoreo con trampas-cámaras presenta diversas ventajas: se reduce de manera significativa el esfuerzo humano invertido en la obtención de datos —las cámaras pueden funcionar durante uno o dos meses y solamente requieren revisiones periódicas del rollo, la tarjeta de memoria o las baterías—, son fáciles de usar y se pueden muestrear grandes extensiones de terreno con poca gente entrenada, no es una técnica invasiva y requiere poco mantenimiento. Por otro lado, sus desventajas incluyen un alto costo inicial en la adquisición del equipo de foto-trampeo, el costo de las baterías, el riesgo del equipo a ser robado -sobre todo cuando permanece en campo por periodos largos de tiempo-, su sensibilidad a la alta humedad relativa del ambiente por sus componentes electrónicos y, si sufre algún daño en el campo, es difícil su reparación.

Sin embargo, estamos convencidos que el muestreo con trampas-cámara asociado a la utilización de modelos de captura-recaptura puede ser un instrumento útil para estimar el tamaño poblacional y monitorear las tendencias poblacionales de muchas especies de mamíferos. Sin embargo, una parte crítica para utilizar estos modelos es la correcta identificación de los individuos (Kelly *et al.*, 2008).

Las historias de captura simples pueden ser usadas para distinguir individuos residentes de transeúntes o animales en dispersión. Sin embargo, es importante saber que la identificación del género (macho-hembra) y la edad de la especie de interés puede ser problemática y sujeta a error. Si bien no existen métodos para diferenciar individuos residentes y transeúntes, una hembra con cachorros o una recaptura constante de un macho adulto seguramente serían indicios de individuos residentes en el área. El monitoreo de las hembras residentes es el medio más confiable para evaluar la demografía de una población y determinar si se trata de una población fuente (Karanth y Nichols, 2002; Chávez, 2006).

Es importante enfatizar que la selección del modelo más adecuado para estimar la densidad de la población depende en gran medida del tamaño de la muestra, que a su vez está asociado a la especie de interés.

Es necesario realizar un mayor número de estudios para conocer cuáles son las mejores estrategias de muestreo con trampas-cámara para diferentes especies y ambientes. Se recomienda involucrar en el estudio a la gente local mediante su capacitación en el uso de las trampas-cámara. Sin embargo, esta capacitación tendrá que ir a la par de cursos de educación ambiental en la comunidad, así como del establecimiento de proyectos productivos compatibles con la conservación de los recursos naturales.

Apéndice 1

Cualquier muestreo enfocado en grandes felinos debe iniciarse con un estudio prospectivo sobre la presencia/ausencia de la especie de interés. En este apéndice reproducimos el cuestionario preliminar para determinar la presencia o ausencia de jaguar (Modificado de Medellín ***et al.***, 2006). Este cuestionario puede servir como guía o punto de partida para el diseño de un cuestionario enfocado a determinar la presencia o ausencia de otras especies crípticas.

Localidad: _____
Fecha: _____
Entrevistador: _____
Número de entrevista: _____
Nombre del entrevistado: _____
Género: (m) (f)
Edad: (<15) (16-30) (31-45) (46-60) (>60)
Escolaridad: _____
Lengua materna: _____
Años de residencia en la localidad: _____

1. ¿A qué se dedica? (se pueden marcar varias) o ¿de qué actividad/es se mantiene su familia?

a) agricultura b) ganadería c) manejo forestal d) cacería e) pesca
f) otra _____

2. ¿Ha visto alguna vez un jaguar (tigre) en esta región vivo en libertad?

sí no (No sabe qué es un jaguar)

3. ¿Dónde lo vio?

a) selva alta perennifolia b) selva mediana c) selva baja
d) bosque de niebla e) bosque de pino-encino f) matorral xerófilo
g) manglar h) acahual/pastizal i) cultivo/cafetal j) cuerpo de agua
k) otros ambientes _____

4. ¿Hace cuánto tiempo lo vio por última vez?

(+ 20 años) (11 a 20) (5 a 10) (- 5) (este año)

5. Si lo vio este año, ¿en qué mes? _____

6. Sabe reconocer las huellas del jaguar (tigre) y del puma.

sí) no)

Si la respuesta es sí: ¿Cómo las reconoce?

7. ¿Ha visto huellas u otros rastros de jaguar (tigre) en esta región?

sí) no) (No sabe reconocerlas)

8. ¿Dónde las vio?

a) selva alta perennifolia b) selva mediana c) selva baja
d) bosque de niebla e) bosque de pino-encino f) matorral xerófilo
g) manglar h) acahual/pastizal i) cultivo/cafetal j) cuerpo de agua
k) otros ambientes_____

9. ¿Cree usted que...? (para personas con al menos 10 años viviendo en el sitio):

a) hay menos jaguares que antes b) hay igual que antes
c) hay más que antes

¿Por qué?

10. ¿Qué piensa usted del jaguar? (pregunta abierta)

a) No tiene opinión del jaguar
b) Lo considera dañino (es peligroso/mata ganado/otra ¿cuál?)
c) Encuentra algo positivo en tener jaguares en la región ¿Qué?
d) Tono de la respuesta
e) Otro _____

Preguntas adicionales sobre presas:

1. Los animales que el jaguar come, ¿cuáles son?

_____

_____

_____

_____

2. ¿Qué tan abundantes son?

a) Muy abundantes (hay muchos) b) Comunes (regular)

c) Raros (muy pocos)

Apéndice 2

Formato para registrar las características de los sitios donde se coloquen las trampas-cámara.

Número de hoja:_____
Estación de cámara:_____
Lugar:_____
Municipio:_____
Nombre de la persona:_____
Lat/ long GPS: _____
Altitud:_____

Fecha:_____
Nombre del sitio: _____
Ejido: _____
Estado: _____

UTM: _____

Tipo de características del sitio para jaguar:
(lo que mejor describe el sitio)

- ☐ ruta de paso
- ☐ marca olorosa
- ☐ sitio de rascadero
- ☐ carcasa
- ☐ sendero
- ☐ hechadero
- ☐ otro (describir)

Tipo de sendero:

- ☐ bien definido
- ☐ moderadamente definido
- ☐ pobremente definido o difícil de ver

Sustrato dominante:

- ☐ rocoso
- ☐ gravoso
- ☐ arenoso
- ☐ grano fino

Presencia de signos:

a) huellas
tamaño_____
tiempo _____
b) rascaderos
número_____
tamaño_____
tiempo _____
c) excrementos
número_____
tiempo _____

Signos de presencia de presas:
especie y tipo de signo_____

Posición en la pendiente:

☐ abajo ☐ mitad ☐ superior

Rugosidad del hábitat:

☐ rocoso ☐ escarpado
☐ muy escarpado ☐ plano o valle

Factores topográficos:

- ☐ loma
- ☐ borde
- ☐ pendiente
- ☐ cima
- ☐ valle
- ☐ cerca
- ☐ cuerpo de agua
- ☐ roca

Tipo de vegetación:

- ☐ sin vegetación
- ☐ pastizal
- ☐ arbustos
- ☐ bosque
- ☐ cultivos
- ☐ otros_____

Uso:

☐temporal ☐primavera ☐verano ☐invierno
☐no temporal ☐todo el año ☐no uso

Presencia humana (incluyendo pastoreo):

- ☐ diaria: varias veces/semana
- ☐ una vez/semana, una vez/mes
- ☐ rara vez visitado

Apéndice 3

Recientemente se han utilizado dos programas computacionales que utilizan modelos espacialmente explícitos para datos de captura-recaptura: uno es el SECR, que se basa en la probabilidad de captura y el SpaceCap, que se basa en estadística bayesiana, ambos se ejecutan en el programa R. Se puede utilizar para estimar la densidad de animales a partir de los registros fotográficos individuales de animales que emplean simultáneamente la información espacial de la localización de la captura con respecto a la ubicación de la muestra (temporal).

Usualmente la densidad estimada utilizando SECR o SpaceCap son generalmente inferiores a las estimaciones generadas por otros métodos que no consideran la parte espacial (por ejemplo, CAPTURE) y de hecho las estimaciones de densidad utilizando SpaceCap son más bajas que SECR. La ventaja de estos programas (SECR o SpaceCap) es los modelos espacialmente explícitos no están sesgados por una estimación informal de un área de estudio efectiva de muestreo. Aunque SpaceCap y SECR son menos sensibles que los modelos no-espaciales para el tamaño de la cuadrícula que se utiliza para el área de muestreo, se recomienda tamaños de cuadrícula varias veces más grande que el radio medio (conocido o estimado) de las áreas de actividad de las especies objetivo. También como se ha mencionado con Capture, el tamaño de la muestra suele ser importante en este tipo de estimaciones.

Una forma interesante de analizar los datos y considerando que el diseño de muestreo, es la base para realizar correctas estimaciones es a partir de cada unidad de muestreo, para el caso de los jaguares los cuadros son de 9 km^2, y se analiza cada uno de ellos en el tiempo discreto (por ejemplo,10, 20, o 30 días) y realiza una estimación del numero de jaguares por el número de unidades de muestreo (9 unidades en el caso del Cenjaguar), porque al final se obtendrá una estimación promedio por unidad de muestreo.

Para el enfoque bayesiano, se utiliza SpaceCap el paquete R, el paquete de software disponible en: http://cran.r-project.org/web/packages/SPACECAP/index.html

Revisar el manual y el archivo en PDF, donde se dan las instrucciones para correr el programa.

Para demostrar el método de verosimilitud para modelos SECR, se utiliza el paquete secren R, desarrollado por Efford (2010) y Efford *et al*. (2009, http://www.otago.ac.nz/density).

Literatura de los programas

Efford, M.G. 2010. SECR: spatially explicit capture recapture in R. Dunedin: Department of Zoology, University of Otago.

Efford, M.G. 2011. Estimation of population density by spatially explicit capture and recapture analysis of data from area searches. *Ecology* 92:2202-2207.

Efford, M.G., D.L. Borchers y A.E. Byrom. 2009. Density estimation by spatially explicit capture-recapture: likelihood-based methods. Pp. 255-269 en: D.L. Thompson, E.G. Cooch y M.J. Conroy (eds.). *Modeling Demographic Processes in Marked Populations*. Springer, Nueva York.

Hines, J.E. 2010. Capture 2. Patuxent: USGSPWRC. www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/capture.html

Singh, P., A.M. Gopalaswamy, A.J. Royle, N.S. Kumar y K.U. Karanth. 2010. SPACECAP: a program to estimate animal abundance and density using Bayesian spatially-explicit capture-recapture models. Bangalore: WCS-India & Centre for Wildlife Studies. Version 1.0

Glosario

Abundancia Número de individuos de una especie en un área dada.

Abundancia relativa La representación relativa de una especie en un sitio determinado. El valor de este parámetro idealmente debería estar correlacionado con el tamaño de la población. Se expresa de diferentes formas, como una relación mayor o menor con otras especies (p. ej. 'hay más jaguares que pumas en la Selva Lacandona'), o como el número de individuos por esfuerzo de muestreo (p. ej. 5 individuos detectados por 100 fotografías tomadas).

Amplitud de la presencia Área dentro de los límites de la presencia de las especies; en ocasiones es usado como sinónimo de área de distribución de la especie.

Área de actividad Área o espacio físico dentro del cual un animal desarrolla sus actividades diarias.

Área de muestreo Área dentro de la cual los resultados del muestreo y las inferencias derivadas de los resultados son relevantes. Esto es análogo a la población estadística. Los sitios del muestreo deben estar distribuidos apropiadamente dentro del área de muestreo y las inferencias obtenidas de los datos estar basadas en un modelo probabilístico particular, para que no estén sesgadas.

Área de ocupación Área usada por una especie. En ocasiones se usa como sinónimo de área de distribución. El área de ocupación nunca es más grande que la amplitud de la presencia.

Área efectiva de muestreo Porción de un sitio o un área alrededor o dentro del sitio en la cual un individuo es detectable por un método dado, o por uno o varios dispositivos. Los métodos que no usan atrayentes (como trampas-cámaras en senderos o el muestreo de excrementos) tienen áreas pequeñas de muestreo efectivo, ya que están limitadas por una corta área de acción. Los métodos que emplean atrayentes tienen áreas efectivas de muestreo mucho más grandes, pero en general éstas son desconocidas.

Captura-recaptura Método de estimación del tamaño de una población, basada en patrones de detección (captura) y re-detección (recaptura) de una muestra de individuos sobre múltiples ocasiones de muestreo.

Celda de muestreo Es la unidad mínima de muestreo. Su tamaño puede ser definido por el área de actividad promedio de la especie de interés en un determinado tiempo. También puede definirse con base en la densidad promedio.

Censo Conteo completo de los individuos de una población en un área y periodo de tiempo determinado. Frecuentemente es usado erróneamente como un sinónimo de "muestreo". Los verdaderos censos son extremadamente raros de trabajar en las poblaciones silvestres.

Conteo Datos que representan el número de detecciones de un individuo registrado en una estación o sitio durante las ocasiones de muestreo. Múltiples resultados binarios de un sitio o durante una sola ocasión de muestreo pueden también ser usados como datos contados. Asimismo, las detecciones múltiples en un sitio pueden ser agrupadas y representadas como datos binarios.

Datos binarios Datos agrupados en una o más ocasiones de muestreo de un sitio. Se utiliza "1" para indicar la detección y "0" para la no-detección. Cuando existen múltiples detecciones dentro de un tiempo dado, éstas se representan sólo con un "1". Las detecciones múltiples en un sitio pueden también ser presentadas como contadas.

Datos detección/no-detección Datos binarios que representan los resultados de uno o más ocasiones de muestreo indicando si las especies fueron detectadas ("1") o no detectadas ("0") en cada localidad. Comúnmente referido como "datos de presencia/ausencia". El conocimiento

de la detección/no-detección no implica que la detectabilidad sea igual a 1 (en la mayoría de los casos es imposible asegurar que una especie está verdaderamente ausente o presente en una localidad).

Detección Evidencia (pista, pelo, excremento o fotografía) que confirme la presencia de la(s) especie(s) de interés en una estación o sitio durante una ocasión de muestreo.

Detectabilidad (o probabilidad de detección) Medida que representa la probabilidad de la detección de una especie o individuo animal (o rastro) dado que esté presente en el sitio de muestreo. La detectabilidad puede ser estimada con un diseño de muestreo adecuado y es importante para estimar la precisión de la ocupación y la abundancia vía métodos de captura-recaptura.

Días-trampa o noches-trampa Esfuerzo de muestreo expresado como el producto de multiplicar el número de trampas activas por el número de noches (o días) en los que las trampas estuvieron activas. Por ejemplo, si utilizamos 10 trampas y las mantuvimos activas cinco noches, y confirmamos que todas las trampas estuvieron activas y funcionando adecuadamente todo el período, entonces el esfuerzo de muestreo fue de cincuenta noches-trampa.

Diseño de muestreo El diseño general del muestreo incluye la definición del área, el tamaño y la localización del muestreo, del o de los sitios de muestreo, el número, la distribución de los dispositivos de muestreo en los sitios, la duración del muestreo y el protocolo para la detección de la(s) especie(s) de interés durante cada ocasión de muestreo. Por ejemplo, 5 sitios de muestreo separados 5 km, en los que se colocan 5 estaciones de trampas de arena, revisados cada día durante diez días.

Dispositivo Entidad específica (muestreo de pistas por medio de trampas de arena, trampas-cámara) que registra una detección. Bajo esta definición, un perro que detecta un excremento es considerado un dispositivo. Algunos métodos (como el muestreo de rastros naturales) no utilizan dispositivos, pero en su lugar las detecciones son realizadas por un observador.

Distribución Área inferida de la presencia de las especies, típicamente expresada en un mapa con base en el área "ocupada" o bien el área "desocupada" (también puede ser el área estimada en cualquiera de las dos categorías). La distribución puede ser una muestra de una superficie continua (como un vector basado en elementos de mapa) o como una superficie dividida en subunidades (celdas de una cuadrícula, reticulado o parcelas) donde se señala el indicador de presencia o ausencia. En ambos casos, su definición puede basarse en muestreos binarios de detección/no-detección o predecirse por medio de algún método de ocupación y una regla de asignación (por ejemplo, todos los sitios predichos con una ocupación >0.80 son definidos como ocupados).

Duración del muestreo Periodo de tiempo o número de ocasiones de muestreo que comprende el muestreo. La duración del muestreo afecta la detectabilidad y puede definirse con base en el área de actividad de las especies de interés y el tamaño del sitio de muestreo.

Error falso-negativo Asignación incorrecta de una no-detección de una localidad donde las especies o rastros están presentes.

Estación Localidad dentro de un sitio o área de muestreo en la cual un intento de detección es hecho durante una ocasión de muestreo. Se asume que las estaciones son independientes (una detección en una estación no afecta la detección de otras estaciones dentro del sitio o área de muestreo). En las evaluaciones de ocupación o abundancia relativa las detecciones en estaciones múltiples son muchas veces agrupadas dentro de los datos binarios o conteos a nivel del sitio. Alternativamente, las estaciones son localidades en las cuales los individuos son detectados por enfoques de captura-recaptura usados para estimar el tamaño de la población.

Exactitud El grado de cercanía de un estimador al valor verdadero de interés. Mientras más cerca esté nuestra estimación al valor real, mayor será la exactitud, y viceversa.

Fotografías independientes o filtradas Es el tiempo que existe entre una foto y otra del mismo individuo en la misma estación. Para especies grandes, como los jaguares, se considera usualmente que es de 24 horas. En el caso de especies de menor tamaño corporal y áreas de actividad pequeñas, se considerado un tiempo mayor a 30 minutos, pero éste dependerá también de sus patrones de actividad.

Historia de capturas o de conteo Cadena de unos y ceros (por ejemplo 0100111) que representa el patrón de detección/no-detección de una especie en un sitio o la historia de detecciones de un individuo en una estación en una serie de ocasiones de muestreo. Las historias de capturas son usadas para estimar el tamaño poblacional.

Historia de detección Véase *Historia de captura o conteo.*

K-Muestras Aproximación del método de captura-recaptura enfocada en el uso de más de dos ocasiones de muestreo para la detección de individuos. Esta aproximación permite la detección y/o el ajuste de la heterogeneidad de la probabilidad de las detecciones entre las ocasiones de muestreo.

Latencia-primera-detección (LPD) Tiempo que le toma a un dispositivo hacer la primera detección de una especie en particular.

Método Enfoque del muestreo o dispositivo que es usado para detectar a las especies de interés y en algunos casos, colectar la información para estimar el estado poblacional. El método es distinto al diseño, el cual se refiere a cómo son empleados uno o mas métodos (véase *Diseño de muestreo*).

Monitoreo Realización repetida de muestreos a través del tiempo con el objetivo de cuantificar los cambios o tendencias en el estado poblacional.

Muestra Fracción de la población con base en la cual se puede inferir algo acerca de la población entera.

Muestreo Uno o más intentos (ocasiones de muestreo) de detectar una especie en cualquier localidad con la intención de hacer inferencias acerca de la presencia de las especies o tamaño de sus poblaciones. Los resultados de los muestreos pueden incluir evaluaciones de presencia de las especies, estimadores de ocupación, la predicción de distribuciones, el conteo promedio por unidad de área o por tiempo de muestreo, o una estimación del tamaño de la población.

Ocasión de muestreo Evento de muestreo en una estación o en un sitio (algunas veces se refiere a una visita o a una revisión). Ocurre cuando un observador asiste al sitio o a la estación para registrar si existe o no la detección. Es similar al registro de la historia de muestreo por un dispositivo capaz de realizar un seguimiento a distancia (por ejemplo, las trampas-cámara que imprimen la fecha y hora en las fotografías), las cuales pueden estar dentro de algunas ocasiones de muestreo entre las visitas del investigador. Las repetidas ocasiones de muestreo pueden aumentar la probabilidad de detección y los resultados de múltiples ocasiones de muestreo pueden ser usados para estimar la probabilidad total de detección de la especie, si las probabilidades de detección individuales son independientes. Los resultados de múltiples ocasiones de muestreo son representados como una historia de captura.

Ocupación Estado poblacional variable que representa una proporción de sitios estimados a ser ocupados (o en el caso de las especies con distribución amplia como los carnívoros, la proporción utilizada) por la especie de interés. Si se emplea un diseño de muestreo apropiado la ocupación es también considerada como un estimador de una proporción del área de muestreo ocupada (o usada) por las especies. La ocupación no es estimada para un sitio

individual, sino para múltiples sitios de muestreo. Se diferencia de la presencia en que está última presenta valores entre 0 y 1.

Ocurrencia Típicamente un sinónimo de ocupación, es también sinónimo de presencia.

Parcela Unidad de muestreo de un área definida.

Población abierta Grupo de individuos cuyo número y composición no son fijos dentro de un área definida en un tiempo determinado, en el cual se presentan nacimientos y muertes, así como inmigración y emigración.

Población cerrada Grupo fijo de individuos dentro de un área y un periodo de tiempo definidos en el que se asume que no hay nacimientos, muertes, inmigración ni emigración.

Precisión Grado de dispersión en las estimaciones generadas con muestras repetidas; mientras menos dispersas estén las estimaciones, mayor será la precisión. La varianza, la desviación estándar y el error estándar son medidas de precisión.

Pre-muestreo Muestreo inicial encaminado a caracterizar la situación poblacional de la(s) especie(s) de interés, realizado antes de la implementación de un muestreo formal y sistemático.

Presencia Estado de una unidad de muestreo ocupada por la especie (o, en algunos casos, por las evidencias de la misma) independientemente de si la especie (o las evidencias) son detectados por el investigador. La presencia es evaluada por una sola unidad de muestreo y difiere de la ocupación en que puede asumir un valor entre 0 y 1 y puede ser estimada con base en datos de detección/no-detección en una serie de unidades de muestreo.

Probabilidad de detección Véase *Detectabilidad*.

Protocolo Acciones específicas adoptadas para llevar a cabo una ocasión de muestreo. El protocolo difiere del diseño en que este último se refiere a una escala mayor considerando el diseño del muestreo, mientras que el protocolo refiere a las instrucciones detalladas que son repetidas en cada unidad de muestreo.

Rango Véase *Amplitud de la presencia*.

Robustez La habilidad de un estimador para generar estimaciones con sesgos relativamente pequeños incluso si los supuestos en los que se basa no son conocidos.

Sesgo Error estadístico persistente asociado con los parámetros estimados cuya fuente de cambio no es aleatorio. El sesgo es la diferencia entre el valor de la estimación del parámetro esperado y el valor verdadero del parámetro. Por ejemplo, un sesgo negativo produce estimaciones que, en promedio, son menores que la verdadera cantidad que se estimó.

Sitio Unidad estadística de análisis cuando se usan datos binarios o conteo de rastros para evaluar la ocupación o la abundancia relativa de una especie. El sitio es un área dentro de la cual los datos binarios de detección/no-detección o los conteos son combinados o agrupados para el análisis. Por ejemplo, en un sitio una sola ocasión de muestreo puede resultar en una detección, una no-detección o un conteo (como podría ser el número de excrementos encontrados).

Situación poblacional Algunos atributos de la población, tales como el área de ocupación, distribución y/o abundancia.

Tendencia Cambio en el estado poblacional a lo largo del tiempo y que puede ser detectado por el monitoreo.

Unidad de muestreo Unidad mínima de análisis. Por ejemplo, si el sitio comprende cinco estaciones de muestreo, cada una de ellas es una unidad de muestreo.

Visita Sinónimo de ocasión de muestreo, el concepto de visita es común en la literatura sobre los carnívoros. La visita puede ser un descriptor menos exacto con el advenimiento de los métodos no invasivos.

Literatura citada

Amín, M. 2004. *Patrones de alimentación y disponibilidad de presas del jaguar (*Panthera onca) *y del puma* (Puma concolor) *en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche.* Tesis de Maestría en Ciencias (Ecología y Ciencias Ambientales), Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Aranda, M. 1994. Diferenciación entre las huellas de jaguar y puma: un análisis de criterios. *Acta Zoológica Mexicana* 63:75-78.

Aranda, M. 1996. Distribución y abundancia del jaguar (*Panthera onca*) en el estado de Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana* 68:45-52.

Aranda, M. 2000. *Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México*. Conabio. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México.

Aranda, M. 2005. *Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México*. Instituto de Ecología A.C. y Conabio. México.

Arita, H. y M. Aranda. 1987. *Técnicas para el estudio y clasificación de los pelos*. Cuadernos de divulgación INIREB No. 32. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz, México.

Arteaga, M.A. y E. Martins-Venticinque. 2008. Influence of topography on the location and density of armadillo burrows (Dasypodidae: Xenarthra) in the central Amazon, Brazil. *Mammalian Biology* 73:262-266.

Azuara, D. 2005. *Estimación de abundancia de mamíferos terrestres en un área de la selva Lacandona, Chiapas.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Baca-Ibarra, I.I. y V. Sánchez-Cordero. 2004. Catálogo de pelos de guarda dorsal de mamíferos del estado de Oaxaca, México. *Anales del Instituto de Biología UNAM Serie de Zoología* 75:383-437.

Beck-King, H., O.V. Helversen y R. Beck-King.1999. Home range, population density, and food resources of *Agouti paca* (Rodentia: Agoutidae) in Costa Rica: a study using alternative methods. *Biotropica* 31:675-685.

Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham, J.L. Laake, D.L. Borchers y L. Thomas. 2001. *Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations.* Oxford University Press.

Buenrostro-Silva, A., S. Gallina y G. Sánchez-Rojas. 2008. Los talladeros de machos de venado cola blanca *Odocoileus virginianus mexicanus* (Gmelin, 1788) y su ubicación para definir sitios reproductivos. Pp. 219-238 en: C. Lorenzo, E. Espinoza y J. Ortega (eds). *Avances en el estudio de los mamíferos de México II*. Asociación Mexicana de Mastozoología. México.

Busby, J.R. 1991. Bioclim: a bioclimate analysis and prediction system. *Plant Protection Quarterly* 6: 8-9.

Carbone, C., S. Christie, K. Conforti, T. Coulson, N. Franklin, J.R. Ginsbe rg, M. Griffiths, J. Holden, M. Kinnaird, R. Laidlaw, A. Lynam, D.W. MacDonald, D. Martyr, C. McDougal, L. Nath, T. O'Brien, J. Seidensticker, J. L. D. Smith, R. Tilson y Wan Shahruddin. 2002. The use of photographic rates to estimate densities of cryptic mammals: response to Jennelle et al. *Animal Conservation* 5:121-123.

Castro-Arellano, I., C. Madrid-Luna, T.E. Lancher Jr. y L. León-Paniagua. 2008. Hair-trap efficacy for detecting mammalian carnivores in the tropics. *Journal of Wildlife Management* 72:1205-1212.

Carpenter, F.L., M.A. Hixon, R.W. Russell, D.C. Paton y E.J. Temeles. 1993. Interference asymmetries among age-sex classes of rufus hummingbirds during migratory stopovers. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 33:297-304.

Ceballos, G. 2008. *Modelado de la distribución de las especies de mamíferos de México para un análisis GAP*. EcoCiencia SC. Informe final SNIB-Conabio Proyecto No. DS006. México.

Ceballos, G. y A. Miranda. 2000. *Guía de campo de los mamíferos de la costa de Jalisco*. Fundación Ecológica de Cuixmala A. C. y Universidad Autónoma de México. México.

Ceballos, G., C. Chávez, A. Rivera y C. Manterota. 2002. Tamaño poblacional y conservación del jaguar en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México. Pp. 403-418 en: Medellín, R. A., C. Equihua, C. Chetkiewics, A. Rabinowitz, P. Crawshaw, A. Rabinowitz, K. Redford, J.G. Robinson, E. Sanderson y A. Taber (eds.). *El jaguar en el nuevo milenio: una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América.* Fondo de Cultura

Económica, Universidad Nacional Autónoma de México y Wildlife Conservation Society. México.

Ceballos, G., C. Chávez, R. List, R. Medellín, C. Manterola, A. Rojo, M. Valdez, D.M. Brousset y S.M. B. Alcántara. 2006. *Proyecto para la Conservación y Manejo del Jaguar en México*. Serie: Proyectos de Recuperación de Especies Prioritarias. No. 14. Dirección General de Vida Silvestre. Semarnat.

Ceballos, G., C. Chávez, S. Blanco, R. Jiménez, M. López, O. Moctezuma, V. Támez y M. Valdez. 2006. Áreas prioritarias para la conservación. Pp. 13-19 en: Chávez, C. y G. Ceballos (eds.). *Memorias del primer simposio "El jaguar mexicano en el siglo XXI: situación actual y manejo"*. Conabio, Alianza WWF-Telcel y Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Chávez, C., M. Amín, G. Ceballos, R.A. Medellín, C. Manterola y A. Rivera (en preparación). Diet, predation rate, prey use and habitat use by jaguars (*Panthera onca*) and pumas (*Puma concolor*) along a vegetation gradient.

Chávez, C., G. Ceballos, R. List y H. Zarza. 2007. *Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas*. Conabio, Alianza WWF-Telcel y Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Chávez, C. y G. Ceballos. 2006. *Memorias del primer simposio "El jaguar mexicano en el siglo XXI: situación actual y manejo".* Conabio, Alianza WWF-Telcel y Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Chávez, C. 2006. *Ecología poblacional y conservación del jaguar en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Chávez-León, G. 2005. A recent record of *Leopardus pardalis* (Linneus, 1758) from Michoacán, México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 9:123-127.

Chew, R.M. y A.E. Chew. 1970. Energy relationships of the mammals of a desert shrub (*Larrea tridentata*) community. *Ecological Monographs* 40:1-21.

Crawshaw, P.G. y H.B. Quigley. 1991. Jaguar spacing, activity, and habitat use in a seasonally flooded environment in Brazil. *Journal of Zoology* 223:357-370.

Cruz, A.E., M.G. Palacios y D.M. Güiris. 2007. Situación actual del jaguar en Chiapas. Pp. 81-90 en: Chávez, C., G. Ceballos, L. Rurik y H. Zarza (eds.). *Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas.* Conabio, Alianza WWF-Telcel y Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Cuttler, T.L. y D.E. Swann. 1999. Using remote photography in wildlife ecology: a review. *Wildlife Society Bulletin* 27:571-581.

De Azevedo, F.C. y D.L. Murray. 2007. Evaluation of potential factors predisposing livestock to predation by jaguars. *Journal of Wildlife Management* 71:2379-2386.

Di Bitetti M.S., Paviolo, A., De Angelo, C. y Y E. Di Blanco. 2008. Local and continental correlates of the abundance of a neotropical cat, the ocelot (*Leopardus pardalis)*. *Journal of Tropical Ecology* 24:189-200.

Dillon, A. y M.J. Kelly. 2007. Ocelot *Leopardus pardalis* in Belize: the impact of trap spacing and distance moved on density estimates. *Oryx* 41:469-477.

Dinata, Y., A. Nugroho, I.A. Haidir y M. Linkie. 2008. Camera trapping rare and threatened avifauna in west-central Sumatra. *Bird Conservation* 18:30-37.

Elith, J., C.H. Graham, R.P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, , R.J. Hijmans, , F. Huettmann, J.R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. G. Lohmann, B.A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. McC. M. Overton, A. Townsend Peterson, S.J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R.E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M.S. Wisz y N.E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography 29:129-151.*

Fiehler, C.M., B.L. Cypher, S. Bremner-Harrison y D. Pounds. 2007. A theft-resistant adjustable security box for digital cameras. *Journal of Wildlife Management* 71:2077-2080.

Giman, B., R. Stuebing, N. Megum, W.J. Meshea y C.M. Steward. 2007. A camera traps inventory for mammals in a mixed used plant forest in Sarawak. *The Raffles Bulletin of Zoology* 55:209-215.

Gompper, M.E., R.W. Kays, J. C. Ray, S.D. Lapoint, D.A. Bogan y J.R. Cryan. 2006. A comparison of noninvasive techniques to survey carnivore communities in northeastern North America. *Wildlife Society Bulletin* 34:1142-1151.

Grigione, M.M., P. Burman, V.C. Bleich, B.M. Pierce. 1999. Identifying individual mountain lions *Felis concolor* by their tracks: refinement of an innovative technique. *Biological Conservation* 88: 25-32.

Guisan, A. y W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8:993-1009.

Hass, C.C. 2002. Home-range dynamics of white-nosed coatis in southeastern Arizona. *Journal of Mammalogy* 83:934-946.

Henschel, P. y J.C. Ray. 2003. *Leopards in African rainforests: survey and monitoring techniques*. Unpublished report No. 54. New York: Wildlife Conservation Society.

Hirzel, A.H., J. Hausser, D. Chessel y N. Perrin. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology* 83:2027–2036.

Jackson, R.M., J.D. Roe, R. Wangchuck y D. O. Hunter. 2005a. Camera-trapping of snow leopard. *CATS News* 42:19-21.

Jackson, R.M., J.D. Roe, R. Wangchuk y D.O. Hunter. 2005b. *Surveying snow leopard populations with emphasis on camera trapping: a handbook.* The Snow Leopard Conservancy, Sonoma, California.

Jennelle, C.S., M.C. Runge y D.I. MacKenzie. 2002. The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals: a comment on misleading conclusions. *Animal Conservation* 5:119-120.

Juárez-Sánchez, A.D.A., C.G. Estrada, M. Bustamante, Y. Quintana-Morales, J. Moreira y J.E. López. 2007. *Guía ilustrada de pelos para la identificación de mamíferos medianos y mayores de Guatemala*. Dirección General de Investigación. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Karanth, K.U., J.D. Nichols., J. Seidensticker, E. Dinerstein, J.L.D. Smith, C. McDougal, A.J.T. Johnsingh, R.S. Chundawat y V. Thapar. 2003. Science deficiency in conservation practice: the monitoring of tiger in India. *Animal Conservation* 6:141-146.

Karanth, K.U., J.D. Nichols y N.S. Kumar. 2004a. Photographic sampling of elusive mammals in tropical forest. Pp 229-247 en: Thomson W. L. (ed.). *Sampling rare or elusive species*. Island Press. Washington.

Karanth, K.U., J.D. Nichols, N.S. Kumar, W.A. Link y J.E. Hines. 2004b. Tigers and their prey: predicting carnivore densities from prey abundance. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 10114:4854-4858.

Karanth, K.U. 1995. Estimating tiger (*Panthera tigris*) populations from camera-trap data using capture-recapture models. *Biological Conservation*, 71:333-338.

Karanth, K.U. y J.D. Nichols (eds.). 2002. *Monitoring tigers and their prey, a manual for researchers, managers and conservationist in tropical Asia*. Centre for Wildlife Studies, Bangalore, India.

Karanth, K.U. y J.D. Nichols. 1998. Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology* 79:2852-2862.

Karanth, K.U., N.S. Kumar y R.S. Chundawat. 2002. Field surveys: assessing spatial distributions of tigers and prey. Pp. 39-50 en: Karanth K.U. y J. D. Nichols (eds.) *Monitoring tigers and their prey*. Centre for Wildlife Studies, Bangalore, India.

Kays, R.W. y K.M. Slauson. 2008. Remote Cameras. Pp. 110-140 en: R.A. Long, P. MacKay, W.J. Zielinski y J.C. Ray (eds.). *Noninvasive survey methods for carnivores*. Island Press. Washington D.C.

Kelly, M.J. 2008. Design, evaluate, refine: camera trap studies for elusive species. *Animal Conservation* 11:182-184.

Kelly, M.J., A.J. Noss, M.S. Di Bitetti, L. Maffei, R.L. Arispe, A. Paviolo, C.D. De Angelo y Y. E. Di Blanco. 2008. Estimating puma densities from camera trapping across three study sites: Bolivia, Argentina and Belize. *Journal of Mammalogy* 89:408-418.

Kendall, K.C. y K.S. McKelvey. 2008. Hair Collection. Pp. 110-140 en: R. A. Long, P. MacKay, W. J. Zielinski y J. C. Ray (eds.). *Noninvasive survey methods for carnivores*. Island Press. Washington D.C. 385 pp.

Keuroghlian, A., D.P. Eaton y W.S. Longland. 2004. Area use by white-lipped and collared peccaries *(Tayassu pecari* and *Tayassu tajacu*) in a tropical forest fragment. *Biological Conservation* 120:411-425.

Kucera, T. E., A. M. Soukkala y W. J. Zielinski. 1995. Photographic bait station. Pp. 25-65 en: W. J. Zielinski y T. E Kucera (eds.). *American marten, fisher, lynx, and wolverine: survey methods for their detection*. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station General Technical Report PSW-GTR-157, Albany.

Kuroiwa, A. y C. Ascorra. 2002. Dieta y densidad de posibles presas de jaguar en las inmediaciones de la zona de reserva Tambopata-Candamo, Perú. Pp. 199-208 en: R. A. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewics, A. Rabinowitz, P. Crawshaw, A. Rabinowitz, K. Redford, J.G. Robinson, E. Sanderson y A. Taber (eds.). *El jaguar en el nuevo milenio: una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América.* Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México y Wildlife Conservation Society. México.

Lancia, R.A., W.L. Kendall, K.H. Pollock y H. Kenneth. 2005. Estimating the number of animals in wildlife populations. *Techniques for wildlife investigations and management.* Sixth edition. 106-153.

Lewison, R., E.L. Fitzhugh y S.P. Galentine. 2001. Validation of a rigorous track classification technique: identifying individual mountain lions. *Biological Conservation* 99:313-321

Lira-Torres, I., J.E. Naranjo y M.A. Reyes-Chargoy. 2005. Ampliación del área de distribución de *Tapirus bairdii*, Gil 1965 (Perissodactyla: Tapiridae) en Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana* 21:107-110.

Lira-Torres, I y G. Ramos-Fernández. 2007. El estado del jaguar en la región de los Chimalapas, Oaxaca. Pp.71-80 en: G. Ceballos, C. Chávez, R. List y H. Zarza (eds.). *Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas*. Conabio, Alianza WWF-Telcel y Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Logan, K.A. y L.L. Sweanor. 2001. *Desert puma.* Island Press.

López-González, C., A. González-Romero, J.W. Laundre. 1998. Range extension of the bobcat (*Lynx rufus*) in Jalisco, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 43:103-105.

Lynam, A. 2002. Métodos de trabajo de campo para definir y proteger poblaciones de gatos grandes: los tigres indochinos como un estudio de caso. Pp. 62 en: R. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewics, A. Rabinowitz, P. Crawshaw, A. Rabinowitz, K. Redford, J. G. Robinson, E. Sanderson y A. Taber (eds.). *El jaguar en el nuevo milenio: una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América.* Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México y Wildlife Conservation Society. México.

Maffei, L., A. Noss y C. Fiorello. 2007. The jaguarundi (*Puma yagouaroundi*) in the Kaa-Iya del Gran Chaco National Park, Santa Cruz, Bolivia. *Mastozoología Neotropical* 14:263-266.

Maffei, L., E. Cuéllar, y A.J. Noss. 2004. One thousand jaguars in Bolivia's Chaco? Camera trapping in the Kaa-Iya National Park. *Journal of Zoology of London* 262:295-304.

Maffei, L., A.J. Noss, S.C. Silver y M.J. Kelly. 2011. Abundance/density case study: jaguars in the Americas. Pp. 119-144 en: A.F. O'Connell, J.D. Nichols y K.U. Karanth (eds.) *Camera traps in animal ecology*. Springer, Nueva York.

Mandujano, S. y S. Gallina. 2005. Dinámica poblacional del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en el bosque tropical seco. Pp. 335-348 en: V. Sánchez-Cordero y R.A. Medellín (eds.). *Contribuciones mastozoológicas en el homenaje a Bernardo Villa*. Instituto de Biología, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Conabio. México.

McCain, E.B. y J.L. Childs. 2008. Evidence of resident jaguars (*Panthera onca*) in the southwestern United States and the implications for conservation. *Journal of Mammalogy* 89:1-10.

Medellín, R.A., D. Azuara, L. Maffei, H. Zarza, H. Bárcenas, E. Cruz, R. Legaria, I. Lira, G. Ramos-Fernández, y S. Ávila. 2006. Censos y monitoreos. Pp. 23-35 en: C. Chávez y G. Ceballos (eds.). *Memorias del primer simposio "El jaguar mexicano en el siglo XXI: situación actual y manejo"*. Conabio, Alianza WWF-Telcel y Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Monroy-Vilchis, O., C. Rodríguez-Soto, M. Zarco-González y V. Urios. 2007. Distribución y uso de hábitat y patrones de actividad de puma y de jaguar en el Estado de México. Pp. 59-70 en: G. Ceballos, C. Chávez, R. List y H. Zarza (eds.). *Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas*. Conabio, Alianza WWF-Telcel y Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Moore, T., L. Spence, C. Dugnolle y W. Hepworth. 1974. *Identification of dorsal guard hairs of some mammals of Wyoming*. Wyoming Game and Fish Department. Cheyenne, Wyoming.

Mowat, G. y C. Strobeck. *2000*. *Estimating population size of grizzly bears using hair capture, DNA profiling, and mark–recapture analysis. Journal of Wildlife Management* 64:183-193.

Negrões, N., R. Sollmann, C. Fonseca, A.T. Jácomo, E. Revilla y L. Silveira. 2012. One or two cameras per station? Monitoring jaguars and other mammals in the Amazon. *Ecological Research*, 27:639-648.

Nichols, J.D. 1992. Capture-recapture models: using marked animals to study population dynamics. *Bioscience,* 42:94-102.

Novack, A.J., M.B. Main, M.E. Sunquist y R.F. Labisky. 2005. Foraging ecology of jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) in hunted and non-hunted sites within the Maya Biosphere Reserve, Guatemala. *Journal of Zoology* 267:167-178.

Nuñez, R., B. Miller y F. Lindzey. 2002. Ecología del jaguar en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco, México. Pp. 107-126 en: R. A. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewics, A. Rabinowitz, P. Crawshaw, A. Rabinowitz, K. Redford, J. G. Robinson, E. Sanderson y A. Taber (eds.). *El jaguar en el nuevo milenio: una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América.* Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México y Wildlife Conservation Society. México.

Otis, D.L., K.P. Burnham, G.C. White y D.R. Anderson. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife Monographs* 62:1-135.

O'Brien, T.G. 2008. On the use of automated cameras to estimate species richness for large-and medium-sized rainforest mammals. *Animal Conservation* 11:179-181.

Palomares, F., J.A. Godoy, A. Piriz, S. J. O'Brien y W. E. Jonson. 2002. Faecal genetic analysis to determine the presence and distribution of elusive carnivores: design and feasibility for the Iberian lynx. *Molecular Ecology*, 11:2171-2182.

Paviolo, A., C.D. De Angelo, Y. E. Di Blanco y M. S. Di Bitetti. 2008. Jaguar (*Panthera onca*) population decline in the Upper Paraná Atlantic Forest of Argentina and Brazil. *Oryx* 42:554-561.

Paetkau, D. *2003. An empirical exploration of data quality in DNA-based population inventories. Molecular Ecology* 12:*1375-1387*

Pearson, O.P. 1959. A traffic survey of *Microtus-Reithrodontomys* runways. *Journal of Mammalogy* 40:169-180.

Pearson, O.P. 1960. Habits of *Micrurus californicus* revealed by automatic photographics records. *Ecological Monographs* 30:231-249.

Phillips, S.J., R.P. Anderson y R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.

Polisar, J. 2002. Componentes de la base de presas de jaguar y puma en Pinero, Venezuela. Pp. 151–182 en: R. A. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewics, A. Rabinowitz, P. Crawshaw, A. Rabinowitz, K. Redford, J.G. Robinson, E. Sanderson y A. Taber (eds.). *El jaguar en el nuevo milenio: una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América.* Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México y Wildlife Conservation Society. México.

Polisar, J., I. Maxit, D. Scognamillo, L. Farrell, M. E. Sunquist y J. F. Eisenberg. 2003. Jaguars, pumas, their prey base, and cattle ranching: ecological interpretations of a management problem. *Biological Conservation* 109:297-310.

Pollock, K.H., J.D. Nichols, T.R. Simons, G.L. Farnsworth, L.L. Bailey y J.R. Sauer. 2002. Large scale wildlife monitoring studies: statistical methods for design and analysis. *Environmetric* 13:105-119.

Rabinowitz, A. y J.R. Nottingham. 1986. Ecology and behavior of the jaguar (*Panthera onca*) in Belize, Central America. *Journal of Zoology* 210:149-159.

Restad, E. y Burnham, K. 1991. User's guide for interactive program CAPTURE: abundance estimation of closed animal populations. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Reyna-Hurtado, R. y G.W. Tanner. 2005. Habitat preferences of ungulates in hunted and nonhunted areas in Calakmul forest, Mexico. *Biotropica* 37:676-685.

Riordan, P. 1998. Unsupervised recognition of individual tigers and snow leopards from their footprints. *Animal Conservation* 1:253-262.

Rosas-Rosas, O.C., L.C. Bender y R. Valdez. 2008. Jaguar and puma predation on cattle calves in northeastern Sonora, Mexico. *Rangeland Ecology and Management* 61:554-560.

Rosas-Rosas, O.C., R. Valdez y L.C. Bender. 2007. La conservación del jaguar (*Panthera onca*) en el Noreste de Sonora, México. Pp. 11-18 en: G. Ceballos, C. Chávez, R. List y H. Zarza (eds.). *Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas*. Conabio, Alianza WWF-Telcel y Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Rowcliffe, J.M. y C. Carbone. 2008. Surveys using camera traps: are we looking to brighter future? *Animal Conservation* 11:185-186.

Roughton, R.D. y M.W. Sweeny. 1982. Refinements in scent-station methodology for assessing trends in carnivore populations. *Journal of Wildlife Management* 46:217-229

Royama, T. 1959. A device of an auto-cinematic food-recorded. *Ton* 15:20-24.

Royama, T. 1970. Factors governing the hunting behavior and selection of food by the Great Tit (*Parus major* L.). *Journal of Animal Ecology* 39:619-668.

Royle, J.A. y J.D. Nichols. 2003 Estimating abundance from repeated presence-absence data or point counts. *Ecology* 84:777-790.

Salom-Pérez, R., E. Carrillo y J.C. Saenz. 2007. Critical condition of the jaguar (*Panthera onca*) population in Corcovado National Park, Costa Rica. *Oryx 41:51-56.*

Sánchez-Cordero, V., D. Stockwell, S. Sarkar, H. Liu, C.R. Stephens y J. Jimenez. 2008. Competitive interactions between felid species may limit the southern distribution of bobcats *Lynx rufus*. *Ecography*, 31:757-764.

Sargeant, G.A., D.H. Johnson y W.E. Berg. 2003. Sampling designs for carnivore scent-station surveys . *Journal of Wildlife Management* 67:289-298.

Sargeant, G.A., M.A. Sovada, y M. A. Slivinski. 2005. Markov chain Monte Carlo estimation of species distributions: a case study of the swift fox in western Kansas. *Journal of Wildlife Management* 69:483-497.

Schaller, G.B. y P.G. Crawshaw. 1980. Movement patterns of jaguars. *Biotropica* 12:161-168.

Shaw, H. G. 1990. *Mountain lion field guide*. Special Report Number 9. Arizona Game and Fish Departament. Phoenix.

Silva, M. y J.A. Downing. 1994. Allometric scaling of minimal mammal densities. *Conservation Biology* 8:732-743.

Silver, S. 2004. *Estimando la abundancia de jaguares mediante trampas-cámara*. Wildlife Conservation Society, Nueva Cork.

Silver, S., L.E. T. Ostro, L.K. Marsh, L. Maffei, A.J. Noss, M.J. Kelly y R.B. Wallace, H. Gómez y G. Ayala. 2004. The use of camera traps for estimating jaguar *Panthera onca* abundance and density using capture/recapture analysis. *Oryx* 38:148-154.

Soisalo, M.K. y S.M. Cavalcanti. 2006. Estimating the density of a jaguar population in the Brazilian Pantanal using camera-traps and capture-recapture sampling in combination with GPS radio-telemetry. *Biological Conservation* 129:487-496.

Souza de, S., J.G. Sanderson y J. de Sousa. 2007. Monitoring mammals in the Caxiuana National Forest, Brazil-first results from the Tropical Ecology, Assessment and Monitoring (TEAM) program. *Biodiversity and Conservation* 16:857-870.

Srbek-Araujo, A.C. y A.G. Chiarello. 2005. Is camera-trapping an efficient method for surveying mammals in neotropical forests? A case study in south-eastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 21:121-125.

Stanley, T. R. y K. P. Burnham. 1999a. A closure test for time-specific capture-recapture data. *Environmental and Ecological Statistics* 6:197-209.

Stanley, T. R. y K. P. Burnham. 1999b. A goodness-of-fit test for capture-recapture model M-t under closure. *Biometrics* 55:366-375

Stockwell, D.R. y D. Peters. 1999. The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Science* 13:14-158.

Taberlet, P., H. Mattock, C. Dubois-Paganon y J. Bouvet. *1993*. *Sexing free-ranging brown bears Ursus arctos using hairs found in the field. Molecular Ecology* 2:399-403.

Thompson, W. L. 2004. Future directions in estimating abundance of rare or elusive species. Pp. 389-399 en: W.L. Thompson (ed.). *Sampling rare or elusive species: concepts, designs, and techniques for estimating population parameters*. Island Press, Washington.

Thompson, W.L., G.C. White y C. Cowan. 1998. *Monitoring vertebrate populations*. Academic Press, San Diego.

Tjorve, E. 2003. Shapes and functions of species-area curves: a review of possible models. *Journal of Biogeography* 30:827-835.

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

Tobler, M.W., S.E. Carrillo-Percastegui, R. Leite Pitman, R. Mares y G. Powell. 2008b. Further notes on the analysis of mammals inventory data collected with camera traps. *Animal Conservation* 11:187-189.

Trolle, M. y M. Kéry. 2001. Estimation of ocelot density in the Pantanal using capture-recapture analysis of camera-trapping data. *Journal of Mammalogy* 84:607-614.

Trolle, M. 2003. Mammals survey in the southeastern Pantanal, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 12:823-836.

Valdez, R., A. Martínez-Mendoza y O.C. Rosas-Rosas. 2002. Componentes históricos y actuales del hábitat del jaguar en el noroeste de Sonora, México. Pp. 367-377 en: R. A. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewics, A. Rabinowitz, P. Crawshaw, A. Rabinowitz, K. Redford, J.G. Robinson, E. Sanderson y A. Taber (eds.). *El jaguar en el nuevo milenio: una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América.* Fondo de Cultura Económica,

Universidad Nacional Autónoma de México y Wildlife Conservation Society. México.

Valenzuela, D. 1998. Natural history of the white-nosed coati, *Nasua narica* in a tropical dry forest of western México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 3:26-44.

Valenzuela, D. y G. Ceballos. 2000. Habitat selection, home range, and activity of the white-nosed coati (*Nasua narica*) in a Mexican tropical dry forest. *Journal of Mammalogy* 81:810-819.

Wakefield, S., O. Attum, E.R. Robinson y M.A. Sandoka. 2008. Seasonal use of a waterhole by Nubian ibex *Capra nubiana* (Artiodactyla: Bovidae). *Mammalia* 72:123-125.

Wallace, R.B., Painter, R.L.E. y A. Saldania. 2002. An observation of bush dog (*Speothos venaticus*) hunting behaviour. *Mammalia* 66:309-311.

Wallace, R.B., H. Gómez, G. Ayala y F. Espinoza. 2003. Camera trapping for jaguar (*Panthera onca*) in the Tuichi valley, Bolivia. *Mastozoología Neotropical / Journal of Neotropical Mammalogy* 10:133-13.

Weckel, M., W. Giuliano y S. Silver. 2006. Jaguar (*Panthera onca*) feeding ecology: distribution of predator and prey through time and space. *Journal of Zoology* 270:25-30.

Wegge, P., C. Pokheral y S.R. Jnawal. 2004. Effects of trapping effort and trap shyness on estimates of tiger abundance from camera trap studies. *Animal Conservation* 7:251-256.

White, G.C., D.R. Anderson, K.P. Burnham y D.L. Otis. 1982. *Capture–recapture and removal methods for sampling closed populations.* LA-8787-NERP, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos.

Williams, W.W., D.R. Etter, D.W. Linden, F.K. Millenbah, R.S. Winterstein y T.K. Scribner. 2009. Noninvasive hair sampling and genetic tagging of co-distributed fishers and America martes. *Journal of Wildlife Managament* 73:26-34.

Williams, B.K., J.D. Nichols y M.J. Conroy. 2002. *Analysis and management of animal populations.* Academic Press, Nueva York.

Wilson, K.R. y D.R. Anderson. 1985. Evaluation of a nested grid approach for estimating density. *Journal of Wildlife Management* 49:675-678.

Wilson, D., R. Cole, J. Nichols, R. Rudran y M. Foster. 1996. *Measuring and monitoring biological diversity, standard methods for mammals*. Smithsonian Institution Press. Washington y Londres.

Woods, J.G., D. Paetkau, D. Lewis, B.N. McLellan, M. Proctor y C. Strobeck. *1999*. *Genetic tagging free ranging black and brown bears. Wildlife Society Bulletin* 27:616-627.

Yoccoz, N.G., J.D. Nichols y T. Boulinier. 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution* 16:446-453.

Yosuda, M., H. Matsubayashi, Rustam, S. Numata, J.R.A. Sukor y S.A. Bakar. 2007. Recent cat records by camera traps in Peninsular Malaysia and Borneo. *CAT News* 47:14-16.

Zielinski, W.J. y H.B. Stauffer. 1996. Monitoring martes populations in California: survey design and power analysis. *Ecological Applications* 6:1254-1267.

Zielinski, W.J., T.E. Kucera y J.C. Halfpenny. 1995. Definition and distribution of sample units. Pp. 17-24 en: W. J. Zielinski y T. E. Kucera (eds.). *American marten, fisher, lynx, and wolverine: survey methods for their detections*. USDA Forest Service Pacific Southwest Reserch Station. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-157, Albany.

Manual de fototrampeo para estudio de fauna silvestre,
el jaguar en México como estudio de caso
se imprimió en los talleres de Offset Rebosán, S.A. de C.V.
Av. Acueducto 115, Col. Huipulco Tlalpan, 14370 México, D.F.
Se imprimieron 1000 ejemplares

FUNDACIÓN Carlos Slim

Alianza WWF telcel

COMISION NACIONAL DE AREAS NATURALES PROTEGIDAS

SERVICIOS ECOLÓGICOS Y CIENTÍFICOS