

RADIOTELEMETRÍA GPS: APLICACIÓN EN EL MONITOREO DEL GANADO CAPRINO EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE TEHUACÁN-CUICATLÁN, OAXACA, MÉXICO

GPS RADIOTELEMETRY: APPLICATION IN THE MONITORING OF THE GOAT CATTLE IN THE TEHUACÁN-CUICATLÁN BIOSPHERE RESERVE, OAXACA, MEXICO

Pérez-Solano, L.A.^{1*}; Mandujano, S.¹

¹Instituto de Ecología, A.C. Red Biología y Conservación de Vertebrados. Carretera Antigua a Coatepec No. 351, El Haya. Xalapa, Veracruz, México.

*Autor para correspondencia: adriana.perez.s@outlook.com

ABSTRACT

Objective: 1) To describe the radio-telemetry technique for study wildlife; specifically, using the global positioning system (GPS); and 2) to exemplify the use of this technique with the domestic goats in a location of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, Oaxaca.

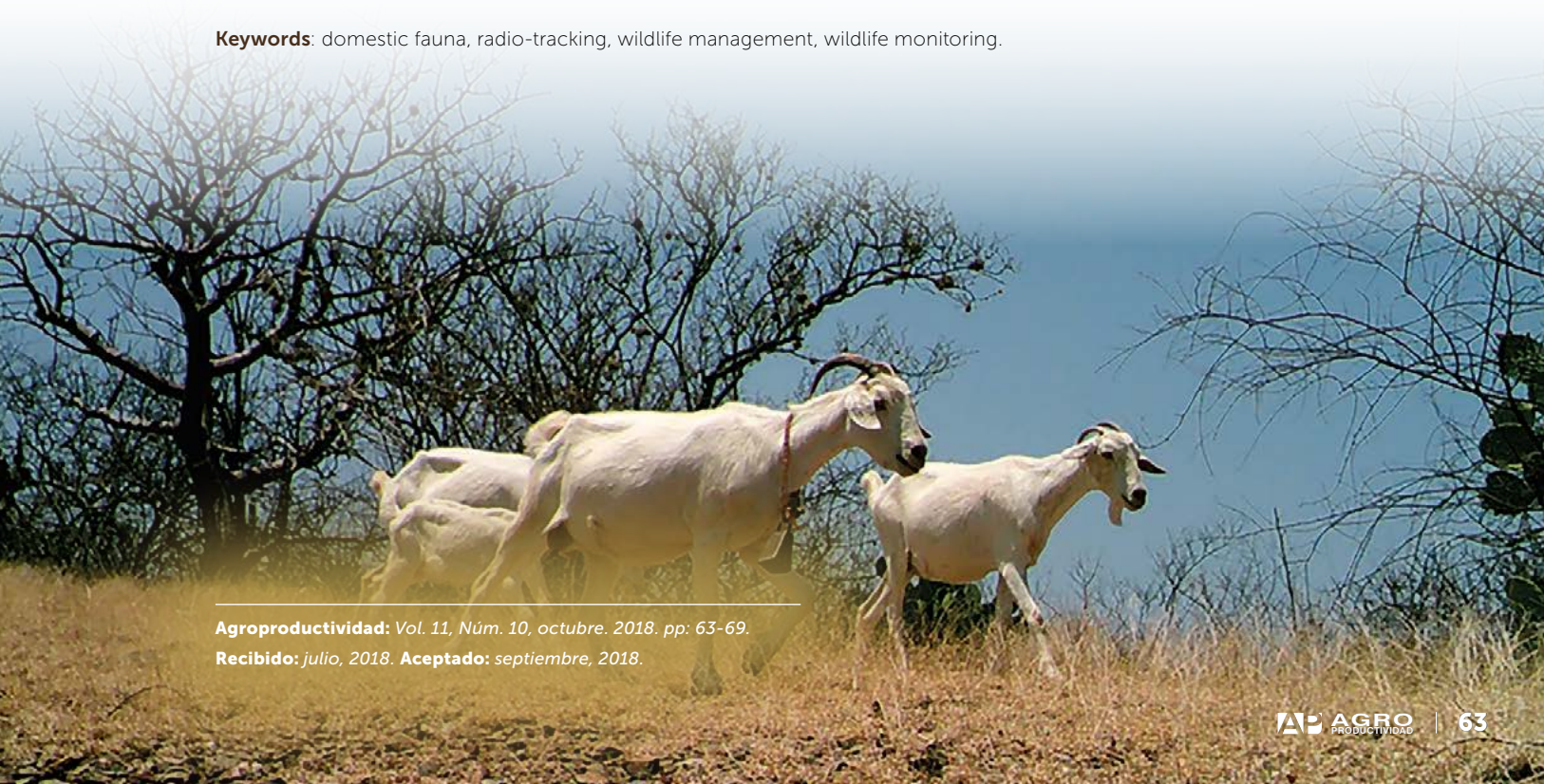
Design/methodology/approach: Goat herds were monitored using GPS radio-telemetry in order to know the spatial and temporal movements in the tropical dry habitats. Specifically, daily distances traveled and foraging areas were estimated using the R packages *adehabitatLT* and *adehabitatHR*, respectively.

Results: The largest herd (90 individuals) traveled 3.9 ± 1.2 (SD) km/day during the rainy season of 2017, and 4.2 ± 2.1 km during the dry season of 2018. The estimated foraging area was 1.44 km² during the rainfall season, and 2.29 km² during the dry season.

Limitations of the study/implications: The radio-telemetry is a precise but expensive technology and for some wildlife species, it is difficult to trap individuals in order to equip and track individuals.

Findings/conclusions: However, the radio-telemetry allow answering relevant questions about animal behavior. The data obtained with this technology provides useful information for the development of management plans. For example, we are studying the possible competition between goats and wild ungulates as white-tailed deer. GPS could help to obtain relevant data in this topic.

Keywords: domestic fauna, radio-tracking, wildlife management, wildlife monitoring.



RESUMEN

Objetivo: 1) Describir la técnica de radiotelemedría para estudiar la vida silvestre; específicamente, usando el sistema de posicionamiento global (GPS); y 2) ejemplificar el uso de esta técnica con las cabras domésticas en una localidad de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca.

Diseño/metodología/aproximación: Los rebaños de cabras fueron monitoreados usando radiotelemedría GPS para conocer los movimientos espaciales y temporales en hábitats tropicales secos. Específicamente, las distancias diarias recorridas y las áreas de forrajeo se estimaron utilizando los paquetes R *adehabitatLT* y *adehabitatHR*, respectivamente.

Resultados: El rebaño más grande (90 individuos) viajó 3.9 ± 1.2 (SD) km/día durante la estación lluviosa de 2017 y 4.2 ± 2.1 km durante la estación seca de 2018. El área de forrajeo estimada fue de 1.44 km^2 durante la temporada de lluvias y 2.29 km^2 durante la temporada seca.

Limitaciones del estudio/implicaciones: La radiotelemedría es una tecnología precisa, pero costosa y para algunas especies de fauna silvestre es difícil atrapar individuos para equiparlos y rastrearlos.

Hallazgos/conclusiones: Sin embargo, la radiotelemedría permite responder preguntas relevantes sobre el comportamiento animal. Los datos obtenidos con esta tecnología proporciona información útil para el desarrollo de planes de gestión. Por ejemplo, estamos estudiando la posible competencia entre cabras y ungulados silvestres como el venado cola blanca. El GPS podría ayudar a obtener datos relevantes en este tema.

Palabras clave: fauna doméstica, manejo de fauna, monitoreo de fauna, radio-seguimiento.

número de biólogos y manejadores de fauna silvestre recurran a esta técnica para obtener información. Los objetivos de los estudios que emplean radiotelemedría no sólo están enfocados en conocer aspectos sobre la ecología básica de los animales silvestres, sino que cada vez son más los trabajos que incluyen el monitoreo de especies domésticas para saber el efecto que éstas tienen sobre otras especies, en el paisaje o para conocer aspectos ecológicos que ayuden a mejorar su manejo o erradicación (Akasbi *et al.*, 2012). Los objetivos del presente trabajo son: 1) describir brevemente el método de radiotelemedría en fauna, específicamente sobre el uso de esta técnica con el sistema de posicionamiento global (GPS) y 2) ejemplificar con un estudio sobre la cabra doméstica dentro de la Reserva de Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, con el propósito de dar a conocer la utilidad de esta herramienta en el manejo de fauna, sus alcances e implicaciones.

Breve historia del desarrollo de la radiotelemedría

La telemetría es la transmisión a distancia de información por medio de ondas electromagnéticas, generalmente ondas de radio, a través del aire o agua (Kenward, 2001a). Su uso consiste en un transmisor sujeto al animal (por ejemplo, con un collar, un implante o pegado), que emite información hacia un receptor. También es conocida en inglés como radio-telemetry, radio tagging, radio-tracking o simplemente tagging o tracking. Surge en la década de 1950 con el desarrollo de dispositivos basados en el uso de telemetría fisiológica aplicada en los pilotos de prueba de la marina de los Estados Unidos, e inicialmente se usó para el monitoreo de aves y mamíferos medianos y grandes, así

INTRODUCCIÓN

El movimiento de los animales ha interesado a la humanidad desde tiempos ancestrales debido a la importancia de conocer cómo y dónde cazar sus alimentos. En la actualidad este interés se debe a razones científicas y a su utilidad en la toma de decisiones relacionadas al manejo y conservación de la biodiversidad (Cagnacci *et al.*, 2010; Hooten *et al.*, 2017). La mejor forma de entender los movimientos y en general el uso de hábitat de los animales, es a través de la observación directa pues permite obtener ubicaciones precisas. Sin embargo, esto implica una labor intensa que puede influir en el comportamiento de los individuos y no siempre es posible de hacer debido al comportamiento elusivo de algunas especies o a las características del hábitat (Cagnacci *et al.*, 2010). Cuando la observación directa no es un método práctico, se requiere emplear otro tipo de técnicas como la radiotelemedría.

El desarrollo de la radiotelemedría aplicado en especies de fauna silvestre ha revolucionado el estudio de los animales, ayudando a superar muchos retos prácticos, logísticos y financieros que surgen con la observación directa (Cagnacci *et al.*, 2010; Hooten *et al.*, 2017). El avance tecnológico y los costos cada vez más accesibles del equipo para esta técnica, han permitido que un mayor

como animales en laboratorio (Kenward, 2001a).

Durante mucho tiempo la radiotelemetría de fauna se basó en tecnología de muy alta frecuencia conocida como VHF (por sus siglas en inglés), donde los transmisores emiten una frecuencia de radio que es recibida en un receptor portátil. Las ondas de radio utilizadas en estos sistemas viajan distancias cortas y para obtener la ubicación se requiere que los usuarios estén en campo, equipados con antenas y receptores adecuados para poder recibir la señal (Kenward, 2001b). En la década de 1990 se desarrollaron mejores modelos de radiotelemetría, especialmente la introducción del sistema de posicionamiento global (GPS) que hasta entonces era exclusivo de uso militar (Kenward, 2001a).

Funcionamiento básico de la radiotelemetría GPS

La radiotelemetría con tecnología GPS funciona a través del uso de satélites que orbitan sobre la tierra. Son necesarios al menos 3 de 26 satélites disponibles para obtener la ubicación, su precisión dependerá del número de satélites que la capten, para luego almacenarla y transmitirla al usuario. Hay tres modos de recuperación de datos. La forma más rudimentaria es recapturando al animal o que el collar con el transmisor esté equipado para desprenderse y que pueda ser recuperado. Un segundo modo es que el transmisor descargue la información mediante un comando que permita el enlace de comunicación con un receptor, por ejemplo, vía bluetooth; esto implica estar en un radio de cercanía adecuada para que la transmisión sea exitosa. Para ambos casos los

datos se almacenan por periodos de tiempo que el usuario asigne, de igual forma los collares también están equipados con radiotransmisores VHF, que permiten su localización en campo (Tomkiewicz *et al.*, 2010).

El tercer modo de obtener la información es mediante su transmisión al sistema de satélites Argos. El sistema Argos funciona con plataformas de terminales transmisoras (PTT) que envían señales a los satélites que pasan, utilizando el efecto Doppler es posible determinar la ubicación en tiempo real y en cualquier lugar de la tierra. La información es enviada al usuario, el cual puede recibirla vía correo electrónico o monitorear en tiempo real a los animales a través de un celular. El uso de los satélites tiene un costo extra al equipo de radiotelemetría (Kenward, 2001b).

Nueva visión de la ecología animal

A pesar de que los costos de hacer radiotelemetría GPS continúan siendo elevados en comparación con los sistemas VHF u otros métodos de monitoreo de fauna, los alcances que puede tener han abierto una gran gama de nuevas preguntas científicas sobre la ecología, evolución y fisiología de los animales, que están revolucionando la manera de entender la ecología animal, su manejo y entorno (Kays *et al.*, 2015). El avance en el desarrollo de los transmisores GPS, como lo son su tamaño cada vez menor, la mayor potencia y duración de la fuente de poder, ha permitido el monitoreo de más especies, de especies de menor talla, que el seguimiento sea más fácil, y que el monitoreo sea viable en áreas más grandes que antes no era posible con la tecnología VHF (Tomkiewicz *et al.*, 2010).

Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) o programas como R 3.4.0 (R Core Team, 2017), que utilizan paqueterías que permiten una fácil administración, análisis y almacenamiento de datos espaciales, diversos estudios han combinado la información obtenida en radiotelemetría con la generada de mapas digitales que representan la topografía, vegetación, suelos o actividades humanas (Barbari *et al.*, 2006; Cagnacci *et al.*, 2010). Además, con la implementación de sensores dentro de los transmisores puede obtenerse información extra a la ubicación de los individuos, por ejemplo, fisiológica (velocidad a la que se desplazan o mortalidad), o de su entorno (temperatura ambiental) (Kays *et al.*, 2015; Kenward, 2001a). Todo esto ha permitido que la visión sobre los animales y su entorno sea mucho más integral.

Monitoreo de la cabra doméstica (*Capra hircus*) en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán

El uso de radiotelemetría GPS para estudiar el comportamiento o movimiento de los individuos es una técnica común con la fauna silvestre (de la Torre *et al.*, 2017), y cada vez es más usada con la fauna doméstica (Akasbi *et al.*, 2012; Barbari *et al.*, 2006). Gran parte de las áreas destinadas a la ganadería se sitúan en regiones remotas donde el control del ganado es poco frecuente, lo que aumenta la necesidad de reducir el tiempo y trabajo destinado al monitoreo de los animales (Morris *et al.*, 2012). La distribución desigual o no controlada del ganado puede afectar negativamente la vegetación o desplazar a la vida silvestre, por lo que, para evitar o mitigar los efectos nocivos al hábitat los manejadores de fauna deben

afrentar esta problemática a través de un amplio conocimiento de los mecanismos que rigen la distribución del ganado (Guo *et al.*, 2009).

La Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán (RBTC), se ubica en los estados de Puebla y Oaxaca, en México, la producción de cabra doméstica (*Capra hircus*) es una práctica ampliamente extendida, llevada a cabo como medio de subsistencia y de forma extensiva (Hernández-Ortega *et al.*, 2008). Los estudios hechos en la reserva para conocer los efectos de la cabra dentro del ecosistema se han realizado principalmente en la región de Zapotitlán Salinas, al noroeste de la reserva, donde predominan los matorrales xerófilos y cactáceas columnares; mientras que en sitios donde domina el bosque tropical seco, el conocimiento sobre los hábitos de la cabra es menor (Landa-Becerra *et al.*, 2016).

Dentro de la RBTC, en los bienes comunales de San Gabriel Casa Blanca, municipio San Antonio Nanahuatipam, Oaxaca, el Instituto de Ecología, A. C. (INECOL) está desarrollando un estudio que tiene como objetivo conocer las posibles interacciones ecológicas entre la cabra doméstica y el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*). El venado cola blanca es una especie importante en la región al ser uno de los herbívoros nativos de mayor tamaño y por el valor económico (Mandujano, 2016). La vegetación dominante en el sitio es el bosque tropical seco y el matorral crasicaule, con algunos manchones de pastizal inducido y zonas de cultivos (Barrera-Salazar *et al.*, 2015). Se presentan dos temporadas climáticas, seca y de lluvias. En la comunidad está operando una Unidad de Manejo de Vida Silvestre (UMA) de tipo extensivo, para la protección y aprovechamiento de varias especies entre las que destaca el venado cola blanca (Mandujano *et al.*, 2016). Los estudios previos con cabras en el sitio han determinado áreas de influencia y rutas de forrajeo de éstas, los sitios de uso los identificaron al acompañar en los recorridos a los rebaños y registrar manualmente la ubicación con un GPS (Barrera y Mandujano, 2013; Barrera, 2015).

Como parte de la investigación se están monitoreando rebaños de cabras a través de radiotelemetría GPS con el propósito de analizar la variación espacial y temporal de sus movimientos. El seguimiento se ha hecho mensualmente desde el 2017, utilizando un collar equipado con tecnología GPS y VHF, modelo TGB-345 / 315 CB marca Telenax (marca mexicana), y una tableta

cargada con una aplicación especial para la descarga de los registros vía bluetooth. El collar es colocado a una cabra por rebaño durante un día (Figura 1), y se programa para tomar localizaciones cada 10 minutos, pues previamente en un recorrido se observó que el rebaño permanece poco tiempo en un mismo sitio.

Este collar con GPS ha permitido monitorear a las cabras durante sus recorridos diarios y registrar de forma más precisa su ubicación. Esto no siempre es posible de obtener cuando un observador acompaña al rebaño y toma la ubicación, ya sea por la accesibilidad a los sitios a causa de las pendientes o la densa cobertura vegetal, o a la rápida movilidad de los animales. Las cabras comúnmente tienen recorridos acompañadas de un pastor, pero en la comunidad también se ha identificado que hay rebaños que pastan libremente, los cuales dejan salir del corral y después de unas horas regresan solos. En este sentido, para el primer caso el uso del collar permite monitorear a los animales sin que la presencia de un observador influya en las decisiones

del pastor (por ejemplo, las rutas que recorren), y para ambos casos, se evita afectar el comportamiento de los animales. Por otra parte, esta técnica ha permitido optimizar el tiempo en campo y los costos, pues no es necesario contar con al menos dos personas para hacer el monitoreo, como ocurre con la tecnología VHF, además de que un mismo collar ha sido usado para seguir diversos rebaños.



Figura 1. Cabra doméstica (*Capra hircus*) portando un collar para radiotelemetría con tecnología VHF y GPS.

La identificación de las áreas de forrajeo de las cabras se ha hecho con métodos que se utilizan para estimar los ámbitos hogareños de la fauna silvestre, y se busca conocer si estas áreas varían entre temporadas climáticas. El ámbito hogareño es el área que un individuo usa normalmente para alimentarse, reproducirse, criar a su descendencia, etc., el cual es cambiante en tiempo y espacio (Burt, 1943). En el caso de estas cabras que forrajean de forma extensiva, la selección de su ámbito hogareño depende en gran parte de las decisiones que tome el pastor. Sin embargo, estos métodos de análisis para los ámbitos hogareños permiten tener una mejor estimación de las áreas que usan las cabras, sin sobre-estimar su extensión. Los análisis se han hecho con el método de Kernel fijo, usando el 95% de las localizaciones, lo cual elimina registros atípicos. Este método es posible de hacer debido a la cantidad suficiente de localizaciones que se obtienen a través del GPS.

El tiempo y la distancia diaria que recorren los rebaños se ha determinado usando el paquete *AdehabitatLT* (Calenge, 2006), y las áreas de pastoreo o ámbitos hogareños se han estimado a través del paquete *AdehabitatHR* (Calenge, 2006); ambos paquetes se han trabajado en el programa R 3.4.0 (R Core Team, 2017). Mediante el sistema de información geográfica QGIS v.2.18 (QGIS Development Team, 2017), ha sido posible combinar la información mencionada anteriormente con la obtenida de mapas digitales.

Durante nueve meses se han monitoreado seis rebaños de cabras,

conformados en promedio por 32 (± 30.19) individuos. Para el rebaño más grande (90 individuos) se han registrado un total de 231 localizaciones exitosas. En un día de monitoreo, con 35 localizaciones se determinó que este rebaño recorrió una distancia de 4.74 km, durante 05:40 horas. El área de uso o ámbito hogareño estimado para ese día fue de 0.50 km² (Figura 2).

En promedio este rebaño recorrió 3.93 (± 1.16) km al día durante la temporada de lluvias del 2017 (junio-septiembre) y 4.24 (± 2.09) km durante la temporada seca de 2018 (enero-mayo), a lo largo de 7 horas en promedio en ambas temporadas. El área de pastoreo estimada fue de 1.44 km² en lluvias (estimada con 144 localizaciones) y 2.29 km² en secas (con 87 localizaciones) (Figura 3).

Debido a su capacidad de adaptación a diversos ambientes, la cabra doméstica puede tener un efecto negativo al degradar los paisajes o al competir por recursos y desplazar a especies nativas (Rosa *et al.*, 2012). Sin embargo, la RBTC al ser una reserva de biosfera debe conciliar la conservación de los ecosistemas con el desarrollo sustentable de las comunidades humanas que ahí habitan (CONANP, 2013). La información obtenida en este estudio será de gran utilidad para poder conjuntarla con lo que se sabe del venado cola blanca y analizar las posibles interacciones entre ambas especies, los efectos en el bosque tropical seco y dar propuestas para el manejo de los rebaños dentro de la reserva.

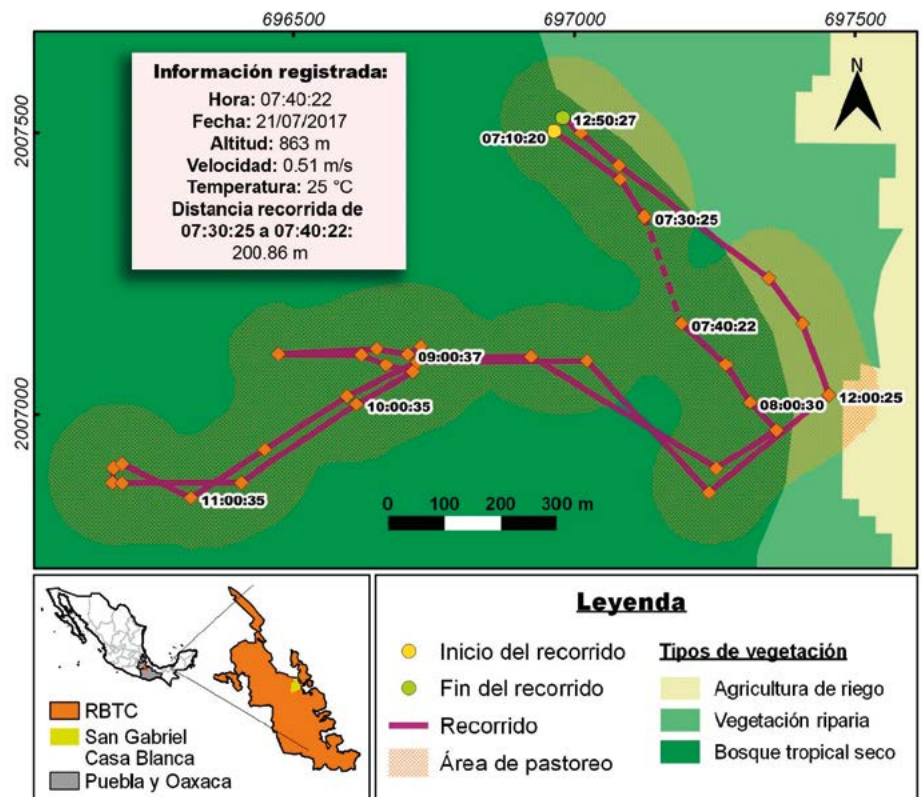


Figura 2. Área de pastoreo y recorrido de un rebaño de cabras domésticas en los bienes comunales de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, México. Se muestran los registros obtenidos en un día, en periodos de diez minutos, desde que las cabras salen del corral hasta su regreso.

CONCLUSIONES

La radiotelemetría es un método novedoso que puede brindar muchas ventajas. Sin embargo, antes de comenzar un estudio deben de tenerse en cuenta varias consideraciones técnicas, económicas y éticas. Es importante evaluar si la pregunta de investigación puede responderse con ayuda de esta técnica, o si existen otros métodos más sencillos y económicos para tener la información que interesa. El equipo para radiotelemetría es costoso, por lo cual al iniciar una investigación hay que considerar si se cuenta con el dinero suficiente para poder cubrir todos los gastos de inversión, captura de animales, salidas al campo, y otros. El equipo humano es un factor muy importante, es necesario contar con médicos veterinarios que aseguren el bienestar de los animales al momento de la captura, con personal que conozca el desarrollo de la técnica en campo y el tratamiento de la información una vez obtenida. Las grandes bases de datos que pueden obtenerse con radiotelemetría GPS suponen también un gran reto en su manejo y análisis (Cagnacci *et al.*, 2010; Kays *et al.*, 2015).

Por otra parte, a pesar del desarrollo tecnológico, no es posible equipar a todas las especies con radiotransmisores, ya sea por el tamaño o porque se estresan fácilmente, esto último puede ser perjudicial al momento de capturar. El propósito de todo estudio con fauna es conocer más sobre las especies y que esta información sea útil para su conservación, por lo que las consideraciones éticas hacia los animales deben de ser prioridad al plantear un proyecto de investigación con el uso de radiotelemetría.

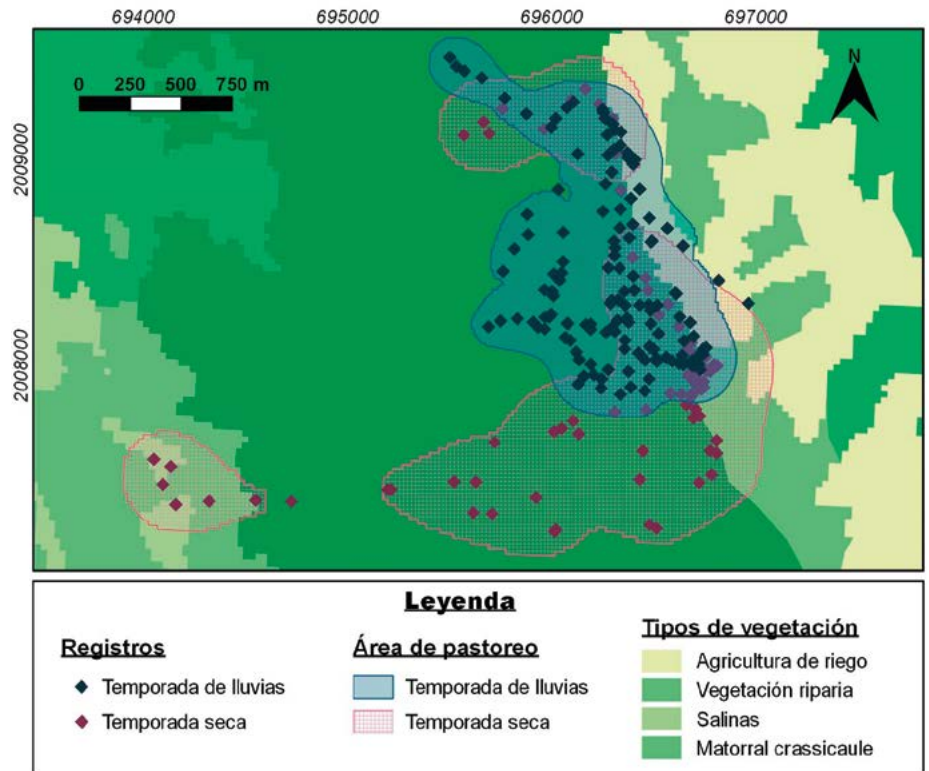


Figura 3. Área de pastoreo estimada para las dos temporadas climáticas (lluvias y secas). Se presentan las localizaciones registradas en cada una de las temporadas y los tipos de vegetación que usan las cabras durante esos periodos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto CONACYT No. CB-2015-01-256549; el primer autor agradece la beca posdoctoral No. 25538 otorgada por este proyecto. Agradecemos el apoyo logístico de la Red de Biología y Conservación de Vertebrados Terrestres del INECOL. A Z. Bautista por su apoyo en el trabajo de campo. Asimismo, a A. Sandoval por su apoyo en el uso de SIG. A la comunidad de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

LITERATURA CITADA

- Akasbi Z., Oldeland J., Dengler J., Finckh M. 2012. Analysis of GPS trajectories to assess goat grazing pattern and intensity in Southern Morocco. *The Rangeland Journal* 34: 415-427.
- Barbari M., Conti L., Koostera B.K., Masi G., Guerri F.S., Workman S.R. 2006. The Use of Global Positioning and Geographical Information Systems in the Management of Extensive Cattle Grazing. *Biosystems Engineering* 95: 271-280.
- Barrera A. 2015. Estimación de la capacidad de carga del hábitat de venado cola blanca y ganado caprino en una "UMA" extensiva de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán. Tesis de maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.
- Barrera A., Mandujano S. 2013. Diagnóstico de la actividad ganadera de caprinos en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán. Reporte técnico. Proyecto: Evaluación de las interacciones entre venado cola blanca y el ganado caprino en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán: Implicaciones de conservación y manejo. Instituto de Ecología, A.C. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Barrera-Salazar A., Mandujano S., Espino-Barro O.A.V., Jiménez-García D. 2015. Classification of vegetation types in the habitat of white-tailed deer in a location of the Tehuacán-Cuicatlán biosphere reserve, Mexico. *Tropical Conservation Science* 8: 547-563.
- Burt W.H. 1943. Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of mammalogy* 24: 346-352.

- Cagnacci F., Boitani L., Powell R. A., Boyce M. S. 2010. Animal ecology meets GPS-based radiotelemetry: a perfect storm of opportunities and challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365: 2157-2162.
- Calenge C. 2006. The package adehabitat for the R software: a tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling* 197: 516-519.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2013. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- de la Torre J.A., Núñez J.M., Medellín R.A. 2017. Habitat availability and connectivity for jaguars (*Panthera onca*) in the Southern Mayan Forest: Conservation priorities for a fragmented landscape. *Biological conservation* 206: 270-282.
- Guo Y., Poulton G., Corke P., Bishop-Hurley G.J., Wark T., Swain D.L. 2009. Using accelerometer, high sample rate GPS and magnetometer data to develop a cattle movement and behaviour model. *Ecological Modelling* 220: 2068-2075.
- Hernández-Ortega R., Ortega-Paczka R., Zavala-Hurtado J., Baca del Moral J., Martínez-Alfaro M.A. 2008. Diagnóstico ambiental y estrategias campesinas en la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán, municipio de Zapotitlán, estado de Puebla. *Revista de Geografía Agrícola* 41: 55-71.
- Hooten M.B., Johnson D.S., McClintock B.T., Morales J.M. 2017. *Animal movement: statistical models for telemetry data*. CRC Press.
- Kays R., Crofoot M.C., Jetz W., Wikelski M. 2015. Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. *Science* 348. doi: 10.1126/science.aaa2478
- Kenward R.E. 2001a. Historical and practical perspectives. Pp. 3-12. *In*: Millsbaugh, J.J., Marzluff J.M. (eds). *Radio tracking and animal populations*. Academic Press, San Diego, California.
- Kenward R.E. 2001b. *A Manual for Wildlife Radiotracking*. Academic Press. London, UK.
- Landa-Becerra A.R., Mandujano S., Martínez-Cruz N.S., López E. 2016. Análisis del contenido nutricional de plantas consumidas por caprinos en una localidad de la Cañada, Oaxaca. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 19: 295-304.
- Mandujano S. 2016. Venado cola blanca en Oaxaca, potencial, conservación, manejo y monitoreo. Instituto de Ecología, A. C., Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Xalapa, Ver., México.
- Mandujano S., López-Téllez M.C., Barrera-Salazar A., Romero-Castañón S., Ramírez-Vera B., López-Tello E., Yañez-Arenas C.A., Castillo-Correo J.C. 2016. UMA extensiva de venado cola blanca en San Gabriel Casa Blanca, en la región de la Cañada. pp.143-158. *In*: Mandujano, S. (ed.). *Venado cola blanca en Oaxaca, potencial, conservación, manejo y monitoreo*. Instituto de Ecología, A. C., Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Xalapa, Veracruz, México.
- Morris J.E., Cronin G.M., Bush R.D. 2012. Improving sheep production and welfare in extensive systems through precision sheep management. *Animal Production Science* 52: 665-670.
- QGIS Development Team. 2017. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>. Consulta: 17 de junio de 2018.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. Consulta: 27 de marzo de 2018.
- Rosa R., Celaya R., García U., Osoro K. 2012. Goat grazing, its interactions with other herbivores and biodiversity conservation issues. *Small Ruminant Research* 107: 49-64.
- Tomkiewicz S.M., Fuller M.R., Kie J.G., Bates K.K. 2010. Global positioning system and associated technologies in animal behaviour and ecological research. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365: 2163-2176.