

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS**



**ECOLOGÍA Y PERDIDA DE HÁBITAT DEL JAGUAR (PANTHERA ONCA) Y SUS
PRESAS EN EL CORREDOR BIOLÓGICO MARISMAS – SIERRA SAN JUAN,
NAYARIT, MÉXICO**

DIANA JATZIRI GUZMÁN BÁEZ

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:
Maestría en Ciencias en el Área de Ciencias Ambientales.

Director: Dr. Víctor Hugo Luja Molina
Co-directora: Dra. Rocío Vega Frutis

Xalisco, Nayarit. Junio, 2021

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS**



**ECOLOGÍA Y PERDIDA DE HÁBITAT DEL JAGUAR (PANTHERA ONCA) Y SUS
PRESAS EN EL CORREDOR BIOLÓGICO MARISMAS – SIERRA SAN JUAN,
NAYARIT, MÉXICO**

DIANA JATZIRI GUZMÁN BÁEZ

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:
Maestría en Ciencias en el Área de Ciencias Ambientales.

Director: Dr. Víctor Hugo Luja Molina
Co-directora: Dra. Rocío Vega Frutis
Asesor: Dr. Oyolsi Nájera González
Asesor: Dr. Juan Pablo Ramírez Silva

Xalisco, Nayarit. Junio, 2021



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/072/2021

Xalisco, Nayarit; 03 de junio de 2021

M.C. GLORIA MACHAIN IBARRA
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
NIVEL SUPERIOR Y POSGRADO

Con base al oficio de fecha 29 de abril del presente, enviado por los **CC. Dr. Víctor Hugo Luja Molina, Dra. Rocío Vega Frutis, Dr. Oyolsi Nájera González y Dr. Juan Pablo Ramírez Silva**, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza a la **Bióloga Diana Jatziri Guzmán Báez**, continúe con los tramites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestra en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Ambientales

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente

“Por lo nuestro a la Universidad Autónoma de Nayarit”



Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado CBAP

Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela Km. 9. C.P. 63780. Xalisco, Nayarit.
Tels. (311)2-11-01-28 y 2-11-11-63 Posgrado (CBAP) 2-11-24 78.

Tepic, Nayarit, a 29 de abril de 2021

DR. J. DIEGO GARÍA PAREDES
COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)
P R E S E N T E

Los suscritos, integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la tesis titulada **“Ecología y pérdida de hábitat del jaguar (*Panthera onca*) y sus presas en el corredor biológico Marismas-Sierra San Juan, Nayarit, México”** que presenta la C. alumna **Diana Jatziri Guzmán Báez** para obtener el grado de Maestro en Ciencias con opción terminal en Ciencias Ambientales, damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención de su grado.

Sin otro asunto que tratar, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE



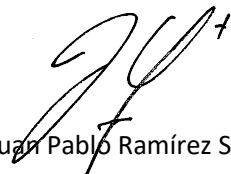
Dr. Víctor Hugo Luja Molina
Director



Dra. Rocío Vega Frutis
Co-directora



Dr. Oyolsi Najera González
Asesor



Dr. Juan Pablo Ramírez Silva
Asesor

Dedicatoria

A estos seres humanos que hacen que mi mundo sea mejor:

A mi mamá. Porque admiro mucho tu forma optimista de ver las cosas ante las adversidades, por todo lo que has pasado y siempre sigues adelante, me das el claro ejemplo de lo que es tener fortaleza y perseverancia. Por todos los valores que me has inculcado y el impulso a valorar el seguir aprendiendo. Por echarme porras desde tan lejos y motivarme a ser una buena persona día con día.

A mi papá. Porque desde chica me has inculcado el respeto por la naturaleza y los seres vivos, y de eso estoy infinitamente agradecida ya que me hace ser un mejor ser humano, y esa manera de ver la vida me ha hecho tomar decisiones que han sido gratificantes como es el tratar de hacer algo por proteger la fauna silvestre. Por esas sonrisas que me sacas cuando la he pasado mal y por impulsarme a seguir mis sueños.

A mis hermanos David y Héctor. Porque sé que puedo contar con ustedes, y en tiempos de confusión e inseguridad ustedes me han sabido ayudar con sus consejos para seguir creciendo como persona.

A Tony. Por el gran cariño que me tienes (que es reciproco), y porque he confirmado mil veces la gran amiga que eres. Por escucharme, por tratarme de dar el mejor consejo y por toda la calidez que brindas en nuestra familia.

A Thalía. Porque me apoyaste en algo que anhelaba tanto, porque a pesar de que al inicio nos costó trabajo, tú lo aceptaste de la mejor manera y siempre me has ayudado con todo lo que he necesitado. Gracias por animarme a seguir cuando no estuve tan optimista, gracias por el tiempo de tu vida dedicado a hacerme feliz y dedicado a cuidar a los pequeños monstruitos en casa. Siempre te he admirado, y lo sigo haciendo.

A esos seres humanos que hacen que el mundo sea mejor

Gracias por cuidar, valorar y respetar la naturaleza y a todos los seres vivos que habitan en ella.

Agradecimientos

Al Dr. Víctor Luja, por darme la oportunidad de trabajar en un proyecto que anhelaba desde licenciatura. Por trasmitirme mucho conocimiento en campo, por esas experiencias entre los manglares y por abrirme los ojos a lo que uno realmente se enfrenta como biólogo en la vida real. Pero sobre todo por brindarme la oportunidad de cumplir un sueño que veía lejano, ver, tocar y oler, no solo uno si no tres jaguares!

A la Dra. Rocío Vega Frutis por el gran apoyo que me brindaste desde un inicio, la guía que uno necesita cuando llega a un lugar nuevo la encontré en ti. Por tu dedicación y tiempo para leer mi tesis, darme consejos para mejorarla, y sobre todo estar siempre al tanto. Valoro mucho el compromiso que tienes con tus alumnos.

Al Dr. Oyólsi Nájera, porque en los dos semestres que fuiste mi profesor aprendí mucho contigo, siempre me ayudaste con las dudas que tenía, gracias por todas las pláticas, consejos y risas. Gracias por ser parte de mi formación académica e invitarme a reflexionar sobre diversos aspectos de la vida.

Al Dr. Juan Pablo por la amabilidad desde un inicio al aceptar ser parte del comité, y con tus comentarios y observaciones mejorar mi tesis.

A Mary Zamudio, P. Virgen, R. Virgen, y A. Ponce por toda la ayuda que me brindaron en el trabajo en campo, por contarme sus experiencias y permitirme aprender de ellas. A Nacho Vallarta por darme la oportunidad y abrirme las puertas para conocer tan fantástico lugar La Papalota, y por tu compromiso con la conservación de la naturaleza.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento mediante el proyecto 3369, y por la beca que me otorgo durante estos dos años de aprendizaje.

Al Dr. Juan Diego García Paredes por el apoyo que me brindo para llevar a cabo actividades que complementaron mi formación académica.

A mi prima Ana Hanan por todo el apoyo que me brindo desde que llegue a Nayarit, y por estar al pendiente de mí y ayudarme cuando lo necesite.

A mis compañeros y amigos Francisco, Brian, Génesis, Poncho, Mitzi, Lino, Chuma que me apoyaron y ayudaron en algún momento de la maestría, además las pláticas, las risas y todos los buenos momentos que pasamos juntos.

A Yamilé y Miriam por todo el apoyo y consejos que siempre me han dado, por estar al pendiente desde que decidí empezar la maestría, por sus palabras de ánimo y por su amistad inigualable. No sé qué haría sin ustedes.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Antecedentes.....	5
Objetivos.....	11
Hipótesis.....	12
Área de estudio.....	12
Literatura citada.....	14
CAPÍTULO 2. An apex carnivore in highly modified environments: The jaguar (<i>Panthera onca</i>) in the coastal plain of Nayarit, western Mexico	24
Abstract.....	25
Introduction.....	26
Study area.....	27
Methods.....	29
Results.....	32
Discussion.....	39
Author contributions.....	41
Acknowledgements.....	41
References.....	42
CAPÍTULO 3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL	51
Literatura citada.....	55

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 1.

Tabla 1. Población estimada de jaguares en cada ARCJ.....	9
---	---

CAPÍTULO 2.

Table 1. Taxonomic list, risk category according to NOM-059-SEMARNAT-2010: P = in danger of extinction, A = threatened and Pr = subject to special protection. Relative abundance and naïve occupation of the species found in the study area.....	32
--	----

Table 2. IP: independent photographs, relative abundance and occupation of some jaguar preys in the Marismas-Sierra San Juan corridor, Nayarit.....	36
---	----

Table 3. Hectares and percentage of each type of land cover for the years 1999 and 2019, their respective annual change rate and trend for 2029.....	37
--	----

Table 4. Transition matrix.....	38
---------------------------------	----

Table 5. Probability matrix with Markov chains, where each digit (multiplied by 100 to convert to a percentage) shows that there is a probability that each class will be replaced by another class by the year 2039.....	38
---	----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1.

Figura 1. Los números indican los Corredores biológicos en la Región Pacífico Centro: 9) Marismas - Sierra San Juan, donde se realizó el estudio, 10) Sierra San Juan – Sierra Vallejo, 11) APRN Nayarit Oriente, 12) Puerto Vallarta – Sierra Manantlán, 13) APRN Nayarit – Sierra Manantlán, 14) APRN Nayarit Sur, 15) Sierra Manantlán – Colima, 16) Colima – Zicuirán – Infiernillo Norte, 17) Zicuirán – Infiernillo – Sierra Nanchititla, 18) Colima – Zicuirán – Infiernillo Sur, 19) Sierra Nanchititla – Guerrero.

Tomado de Ceballos *et al.* 2018.....13

Figura 2. Ubicación del área de estudio en el corredor Marismas – Sierra San Juan, Nayarit. Elaboración propia.....13

CAPÍTULO 2.

Fig. 1 Camera-trap sampling design and location of the study area in the Marismas – Sierra San Juan corridor, Nayarit, México.....28

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

El jaguar (*Panthera onca*) es el felino de mayor tamaño en el continente Americano, en donde ha vivido desde hace aproximadamente un millón de años (Rabinowitz, 2014). Originalmente este depredador tope se encontraba distribuido extensamente en todo el continente, desde las zonas semidesérticas del sur de los Estados Unidos pasando por México, Centro y Sudamérica hasta los bosques tropicales al norte de Argentina (Seymour, 1989). Sin embargo, Swank y Teer (1989) estimaron que la distribución histórica del jaguar hasta 1989 había disminuido 66%.

A principios del siglo XX el jaguar en México habitaba de manera ininterrumpida las regiones tropicales y subtropicales del país, desde Sonora hasta Chiapas en la vertiente del Pacífico, y de Tamaulipas hasta Campeche y la Península de Yucatán en la vertiente del Golfo de México (Chávez-Tovar *et al.* 2006; Ceballos *et al.* 2018), así como la Planicie Central en los estados de Morelos, Estado de México e Hidalgo (Monroy-Vilchis *et al.* 2008; Aguilar-López *et al.* 2015; Valenzuela-Galván *et al.* 2015). Se le encuentra principalmente en selvas altas, selvas medianas, selvas bajas, matorrales, manglares y humedales de las tierras bajas y tropicales de todo el país (Ceballos *et al.* 2018). Además pueden vivir desde el nivel mar hasta los 2000 metros de altitud (Ceballos *et al.* 2006; Monroy-Vilchis *et al.* 2008). Particularmente en el occidente de México, el jaguar ocupaba la planicie costera del Pacífico, la Sierra Madre del Sur y parte de la Sierra Madre Occidental (Hall, 1981; Ceballos y Oliva, 2005; Leopold, 2000). Chávez y Ceballos (2006) estimaron que el jaguar ocupaba 40% de su distribución histórica en México y que prácticamente había desaparecido de la región costera del Golfo de México.

Ceballos y colaboradores (2018) mencionan que se encuentra distribuido en alrededor de 52 millones de hectáreas, es decir, en el 26% del territorio nacional y 7 millones de hectáreas (14%) de esa extensión se encuentra dentro de alguna área natural protegida, mientras que el resto del territorio donde habita el jaguar no está

protegido de manera sólida a largo plazo (Ceballos *et al.* 2018). De acuerdo con el Censo Nacional del Jaguar (CENJAGUAR) se estima que en el país existen únicamente entre 4000 a 5000 jaguares en vida libre (Medellín *et al.* 2016), por lo que ahora se encuentra protegido por la legislación ambiental. A nivel global, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) lo cataloga como especie casi amenazada (Caso *et al.* 2008), y se encuentra en el apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre (CITES). En México se encuentra como especie en Peligro de Extinción (SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010). Sin embargo, un estudio reciente en el cual se analizó la situación de cada una de las grandes poblaciones del jaguar en todo el continente utilizando las categorías de la UICN, se determinó que la población de la sierra de Tamaulipas y Golfo de México está dentro de la categoría de “críticamente amenazado” y las poblaciones de la selva Maya y el Pacífico mexicano como “amenazado” (de la Torre *et al.* 2017).

Evaluar la situación del jaguar es de suma importancia por los siguientes motivos:

(i) Conservación del patrimonio cultural: es considerada una especie culturalmente importante ya que desde la mitología de las culturas precolombinas, ha jugado un papel importante como una de las deidades más notables y veneradas del mundo antiguo. Entre los mayas y los mexicas, la imagen del jaguar simbolizaba liderazgo, sacrificio y guerra, y por ello se usó para representar a poderosos dioses, gobernantes y guerreros (Valverde, 2004), también se le relacionaba con la valentía y el poder, con la fertilidad de la tierra e, incluso fue símbolo de misterio y de conexión entre el mundo real y el inframundo (Castaño-Uribe *et al.* 2013; Ceballos *et al.* 2018).

(ii) Importancia ecológica: el jaguar al ser un depredador tope, es un eslabón clave en el funcionamiento de los ecosistemas, su presencia se relaciona con una cobertura vegetal densa así como del estado de conservación del hábitat, base de presas abundante y agua disponible (Rabinowitz y Nottingham, 1986) además de que ésta favorece el equilibrio normal de los sistemas tróficos al actuar como regulador del crecimiento de las poblaciones de herbívoros y en general de consumidores primarios,

y de mesocarnívoros oportunistas, eliminando ejemplares viejos o enfermos (Seymour, 1989; Castaño-Urbe *et al.* 2010).

A pesar de lo mencionado anteriormente, el jaguar en México se está extinguiendo por la cacería ilegal, la eliminación de sus presas, la introducción de enfermedades a través de animales domésticos, la destrucción y fragmentación de su hábitat por el avance de la frontera agrícola y ganadera, e infraestructura (Ceballos *et al.* 2011), así como por la pérdida de conectividad del paisaje (Watkins *et al.* 2015). En el año 2000, México contaba con 52 millones de hectáreas de bosques y selvas, estas presentaron una tasa de deforestación promedio de 631,000 ha/año (FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2005).

Estas amenazas constantes repercuten también en otras especies animales, como es el caso de las presas potenciales del jaguar. Las presas son fundamentales para la existencia de grandes depredadores, aunque en el caso del jaguar no está claro cuál es su presa base (López-González y Miller, 2002) y algunos autores mencionan que los jaguares son depredadores oportunistas y su dieta simplemente refleja las presas disponibles en un sitio (Mondolfi y Hoogesteijn, 1986; Rabinowitz y Nottingham, 1986; Emmons, 1987; Sunquist y Sunquist, 2002; Harmsen *et al.* 2010). Se han reportado más de 110 especies en su dieta, desde pequeños roedores hasta ganado que pesa más de 200 kg (Hayward *et al.* 2016). Estudios en México realizados principalmente en regiones tropicales han reportado que las más abundantes son el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), tepezcuintle (*Cuniculus paca*), temazate (*Mazama temama*), coatí (*Nasua narica*), armadillo (*Dasybus novemcinctus*), cacomixtle (*Bassariscus sumichrasti*), conejo (*Sylvilagus floridanus*), pecarí de collar (*Pecari tajacu*), osos hormiguero (*Tamandua mexicana*), tapir (*Tapirus bairdii*) y tlacuache (*Didelphis virginiana*) (Núñez *et al.* 2002; Ceballos *et al.* 2005; Chávez *et al.* 2007; Cruz *et al.* 2007; Durán *et al.* 2010). Generalmente se relaciona la abundancia de presas con la de jaguares y, en su caso, al declinar las presas silvestres los jaguares llegan a atacar ganado generando conflictos con el humano (Rabinowitz y Nottingham, 1986; Amit *et al.* 2009; Chávez y Zarza, 2009; Ripple *et al.* 2014; Lavariega *et al.* 2017).

Una población de jaguar requiere de miles de hectáreas con suficiente cobertura forestal para mantener su viabilidad a largo plazo. El tamaño de su área de actividad está relacionado con la abundancia de alimento, y tiene un rango de los 10 a 150 km² (CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2011). Es considerado “especie sombrilla” ya que al conservar suficiente hábitat para una población de la especie, también se brinda protección a otras especies de fauna y flora, que comparten su territorio (Sanderson *et al.* 2002; Rabinowitz y Zeller, 2010). Su posición trófica determina que sus densidades de población son naturalmente bajas (generalmente <4 individuos / 100 km²; Jędrzejewski *et al.* 2018). Como es el caso con la mayoría de los otros carnívoros grandes, sus densidades están reguladas principalmente por la calidad del hábitat y la densidad de presas (Karanth *et al.* 2004; Di Bitetti *et al.* 2008). Así pues, la presencia de las especies de felinos y presas está fuertemente determinada por el estado de conservación del paisaje y las áreas protegidas (González-Maya *et al.* 2013). Por lo tanto, proteger las áreas donde habita y los corredores biológicos (entendiendo éste como una región que proporciona conectividad entre ambientes naturales relativamente bien conservados, con lo que se mantiene la diversidad biológica y los procesos ecológicos y evolutivos) que permiten la conectividad entre ellos, es fundamental para la conservación del jaguar y un porcentaje considerable de la diversidad biológica de México (Ceballos *et al.* 2018).

La región costera de Nayarit ha sido históricamente explotada y su vegetación natural eliminada. Actualmente se calcula que queda menos del 79.9% de vegetación natural (CONAFOR: Comisión Nacional Forestal, 2015). Incluso en la gran extensión de la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit (RBMNN; 133,000 ha) que se supone debería estar protegida, existen campos agrícolas, ganaderos y granjas acuícolas (Berlanga *et al.* 2010). Por tanto, la vegetación nativa queda como “islas” en una matriz altamente fragmentada (Luja *et al.* 2017). De acuerdo con el CENJAGUAR, las densidades promedio mínimas estimadas para los jaguares en México están en el bosque mesófilo y en los matorrales del norte de México, y son aproximadamente de 0.75 jaguares/100 km². La selva alta y mediana son los tipos de vegetación con mayor densidad promedio, 3.3 individuos/100 km² (de dos a cinco individuos/100km²). Es

posible que la variación en las densidades entre los diferentes sitios se deba a variaciones locales en la disponibilidad de presas, composición del hábitat y perturbaciones antropogénicas (Medellín *et al.* 2016).

Como se expuso anteriormente, el jaguar requiere grandes áreas de vegetación con poblaciones de presas. Por ejemplo, trabajos realizados en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche (Chávez *et al.* 2007), la Reserva de la Biosfera de Montes Azules, Chiapas (de la Torre y Medellín, 2011), y la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas (Carrera-Treviño *et al.* 2016), se ha reportado una densidad de 3.3 a 6.6 individuos/100 km², $4.6 \pm 1.6/100 \text{ km}^2$, $5.9 \pm 1.3 \text{ jaguares}/100 \text{ km}^2$ respectivamente, y una buena base de presas. El escenario que enfrentan en la planicie costera de Nayarit es muy diferente, como se mencionó. Por tanto, este trabajo pretende conocer el estado de las poblaciones de jaguar y sus presas en áreas altamente degradadas.

ANTECEDENTES

Tal como lo mencionan Johnson y Van Pelt (2016) “Es crucial obtener información precisa sobre la situación del jaguar en todos los países del área de distribución para tomar decisiones y asignar los recursos necesarios que aseguren que la especie se conserve de manera efectiva. La eficiencia es también un tema importante porque los fondos disponibles para la conservación de la vida silvestre, incluida la protección de hábitat, es siempre limitada y difícil de conseguir.” En este sentido, el estudio de los parámetros poblacionales como son la abundancia y densidad tanto del jaguar como de sus presas debe ser permanente, ya que para lograr los objetivos de conservación de estas poblaciones en un sitio, los planes de manejo necesitan una correcta estimación de la abundancia de las especies (Silver *et al.* 2004), principalmente para implementar estrategias que protejan a especies en peligro de extinción. Estas estimaciones deben ser precisas, ya que una sobreestimación puede dar un falso diagnóstico poblacional y comprometer los esfuerzos de conservación (Kelly *et al.* 2008; Sharma *et al.* 2009). Por lo tanto, la base para programas de monitoreo e

investigaciones ecológicas sobre poblaciones de mamíferos, es la estimación de abundancia absoluta o relativa, con el objetivo de hacer inferencias sobre su variación en el espacio y/o tiempo (Walker *et al.* 2000; O'Brien, 2011).

México es pionero en establecer protocolos para estimar el tamaño poblacional de jaguares, así como de la abundancia de sus presas. En el 2000, se integró el Subcomité Técnico Consultivo Nacional para la conservación y manejo del jaguar, como parte del Programa para la Recuperación de Especies Prioritarias de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ceballos *et al.* 2006), conformado por especialistas en el estudio del jaguar quienes crearon CENJAGUAR en el cual se basaron en factores como la presencia de poblaciones, hábitat adecuado para las especies y el nivel de amenaza de esas áreas por actividades antropogénicas (Chávez-Tovar *et al.* 2006), para establecer las Áreas Regionales para la Conservación del Jaguar (ARCJ) así como Corredores Biológicos para su conservación (Ceballos *et al.* 2010).

A continuación se describen algunos estudios referentes a la ecología del jaguar y sus presas potenciales utilizando diversas metodologías incluyendo la del CENJAGUAR. Ceballos y colaboradores (2002) evaluaron la ecología poblacional y el estado de conservación del jaguar en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche. Capturaron ocho jaguares a los que les colocaron radio collares, de los cuales, cinco eran machos y tres hembras. La densidad poblacional fue estimada de un individuo por cada 15 km², y sugirieron que la población total de la Reserva era probablemente, de alrededor de 482 jaguares. En otro estudio sobre la ecología y conservación del jaguar en la región de Calakmul, Ceballos y colaboradores (2005) reportaron que las especies de presas más abundantes fueron el venado cola blanca, tepezcuintle, temazate, coatí y armadillo. En un estudio que se realizó en la Reserva de la Biosfera Calakmul en Campeche y en el Ejido Caoba en Quintana Roo, Chávez y colaboradores (2007) reportaron que la densidad de jaguares varió de 3.3 a 6.6 individuos por 100 km² y mencionan que el tamaño de la población en Calakmul es de cerca de 900 jaguares, y el de toda la península probablemente mayor de 2000 ejemplares. En

cuanto a las presas el jaguar, en ese sitio, consumió pecarí de collar, tepezcuintle, armadillo, viejo de monte (*Eira barbara*), oso hormiguero (*Tamandua mexicana*), temazate rojo (*Mazama temama*), cacomixtle (*Bassariscus sumichrasti*) y conejo (*Sylvilagus floridanus*).

En un estudio que se hizo en 16 localidades de Chiapas, el área de distribución del jaguar fue estimada en 8,800 km² y la población entre 241 y 343 individuos (Aranda, 1996). Mientras que en la Sierra Madre de Chiapas, al analizar 45 excretas de jaguar, se registraron alrededor de 20 especies de fauna silvestre, como pecarí de collar, tepezcuintle, tapir, tlacuache, oso hormiguero y coatí, y los animales domésticos representaron el 2% de 45 excretas analizadas (Cruz *et al.* 2007). En un estudio en el Sur de la Reserva de la Biosfera de Montes Azules, de la Torre y Medellín (2011) usando el método de fototrampeo determinaron que la densidad más baja de jaguares fue durante la estación seca de 2007 (1.7 ± 0.7 por 100 km²), mientras que la más alta fue durante la temporada de lluvias de 2008 (4.6 ± 1.6 por 100 km²). La estimación del hábitat potencial del jaguar y la extrapolación de las estimaciones en las Áreas Naturales Protegidas de la Selva Lacandona, Chiapas sugieren que podrían soportar de 62 a 168 jaguares (de la Torre y Medellín, 2011).

En cuatro comunidades de la etnia Chinanteca, cuyo territorio es mayor de 32,000 ha en la Sierra Norte del Estado de Oaxaca, zona dominada por bosques tropicales, mediante el fototrampeo se obtuvo que en la región existen por lo menos dos jaguares y diez especies de animales presa (Durán *et al.* 2010). En los Chimalapas, Oaxaca, se recopilaron 12 registros de presencia de jaguar, ocho registros (66%) fueron obtenidos por las visitas realizadas a la región, con base en las siguientes evidencias: huellas, excrementos, marcas en árboles, restos de alimentación y verificación de las lesiones ocasionadas al ganado doméstico depredado en varias localidades, así como en la colecta y fotografía de pieles de ejemplares cazados (Lira y Ramos-Fernández, 2007).

En el Estado de México del 2002 al 2006, se analizó la distribución, uso de hábitat y patrón de actividad del jaguar y puma (*Puma concolor*), donde se registraron 236

rastros de puma y jaguar, nueve fueron pieles (3.8%), 53 fueron huellas (22.4%), y 174 fueron excremento (73.7%). Finalmente, de acuerdo al tipo de cobertura, el puma y el jaguar ocurrieron con mayor frecuencia en bosques de encino y bosques de pino-encino (Monroy-Vilchis *et al.* 2007).

Núñez y colaboradores (2002), realizaron un estudio en la Reserva de la Biosfera de Chamela-Cuixmala, Jalisco, en donde calcularon que había 1.7 jaguares por cada 100 km² y reportaron que en ese sitio la presa más importante del jaguar fue el venado cola blanca. En un censo realizado en Nuevo León en el periodo de 1992 a 1995, Rosas-Rosas y López-Soto (2002) colectaron 24 registros de jaguar en la subprovincia de la Gran Sierra Plegada de la Sierra Madre Oriental. En la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, mediante el fototrampeo, se determinó que la densidad poblacional del jaguar fue de 5.9 ± 1.3 jaguares/100 km² (Carrera-Treviño *et al.* 2016). En el Área de Protección de Flora y Fauna Meseta de Cacaxtla, Sinaloa, con el método de fototrampeo obtuvieron una densidad de 1.59 ind/100 km² y 15 jaguares para el área natural protegida (Coronel-Arellano *et al.* 2017). En este mismo estado se visitaron diferentes áreas y se hicieron entrevistas obteniendo 57 registros de los cuales 41 fueron nuevos registros (Navarro-Serment *et al.* 2005). En un área natural protegida privada, la Reserva de Jaguar del Norte y 10 ranchos de ganado contiguos en el estado de Sonora, mediante el método de fototrampeo se identificaron 10 jaguares y la densidad media estimada fue de 1.05 ± 0.4 individuos por 100 km² (Gutiérrez-González *et al.* 2012).

En el “Proyecto para la Conservación y Manejo del Jaguar en México”, se reportó que es posible que el jaguar haya ya desaparecido de las planicies costeras, excepto en regiones inundables como en la zona de Marismas Nacionales en Sinaloa y Nayarit, y en la Encrucijada, Chiapas. En este proyecto se destacan las áreas prioritarias en donde se deben de realizar las evaluaciones de las poblaciones del jaguar, las cuales son: Región de Calakmul-Sian Kaán, Campeche y Quintana Roo, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Marismas Nacionales Sinaloa y Nayarit, bosques

tropicales del sur de Nayarit y Jalisco, bosques tropicales desde Oaxaca y Chiapas hasta Campeche y Quintana Roo (SEMARNAT, 2006).

En México se han establecido Áreas Regionales para la Conservación del jaguar (ARCJ), donde cada área es un gran macizo forestal (áreas naturales protegidas o en su defecto áreas con grandes extensiones de hábitat para la especie). Para definir las ARCJ, se dividió al país en cinco regiones: 1) Noreste-Centro, 2) Noroeste, 3) Pacífico Centro, 4) Pacífico Sur-Golfo, y 5) Península de Yucatán (Medellín *et al.* 2016). En la Tabla 1 se resume la población estimada para cada ARCJ:

Tabla 1. Población estimada de jaguares en cada ARCJ.

Región	Estados	Población estimada	Autores
Península de Yucatán	Quintana Roo, Campeche, Yucatán	1850	Chávez <i>et al.</i> 2016
Pacífico Sur-Golfo	Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Tabasco	653	de la Torre <i>et al.</i> 2016
Noroeste	Sonora, Sinaloa, marginalmente Chihuahua y Durango	482	Rubio <i>et al.</i> 2016
Noreste Centro	Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Puebla	429	Zarza <i>et al.</i> 2016
Pacífico-Centro	Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Estado de México	397	Ceballos <i>et al.</i> 2016

De lo anterior se deriva que, aunque relativamente el jaguar está bien estudiado en México, poca atención se ha puesto al jaguar y a sus presas potenciales en Nayarit. En este estado solo se tienen como antecedentes, un estudio que se realizó en el

Municipio de San Blas, Nayarit, donde Figel y colaboradores (2016) con el método de fototrampeo detectaron 9 jaguares (dos machos, cinco hembras y dos individuos de sexo desconocido) en un área de 194 km² durante 1,575 noches de captura de abril a junio de 2010. Por otro lado, se tiene un informe técnico de la CONANP (2011) en donde mediante el uso de cámaras trampa obtuvieron 47 fotografías independientes de jaguar, correspondientes a 4-5 hembras y 5 machos, y reportaron que la abundancia del jaguar fue de 4.5 individuos por 100 km² en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales (RBMN). En esta misma Reserva, se tiene una ficha de evaluación ecológica en donde se estimó una población de jaguar de entre 22 y 37 individuos y una densidad de entre dos y cuatro individuos por 100 km², la cual mencionan que ha sido constante a lo largo del tiempo, y demuestra que los ecosistemas de la Reserva proveen recursos para mantener la población actual y su reproducción (CONANP, 2016).

Finalmente, en un estudio realizado en el Área Destinada Voluntariamente para la Conservación (ADVC) La Papalota, se obtuvieron 130 fotos independientes de seis diferentes individuos (un macho adulto, tres hembras adultas, una hembra subadulto y un cachorro), durante un período de 14 meses (Luja *et al.* 2017). Cabe resaltar que estos últimos tres estudios se realizaron en Reservas naturales. Sin embargo, el jaguar y otras especies no viven únicamente dentro de las ANP sino que se mueven fuera de éstas ya sea como parte del recorrido dentro de su ámbito hogareño o bien al desplazarse en busca de nuevos territorios (Núñez *et al.* 2002; Chávez, 2010), quedando expuestos a peligros por actividades humanas o con mayor vulnerabilidad para ser cazados (Ceballos *et al.* 2012). También se tiene un estudio de carácter social, en donde Zamudio y colaboradores (2020) analizan la perspectiva que tienen los habitantes de dos comunidades insertas de Nayarit sobre el jaguar, y mencionan que los principales problemas respecto a la convivencia con el jaguar son la desinformación que se tiene sobre la especie. Además, de un libro con propósitos de educación ambiental donde se habla de la importancia de conservar y proteger a los jaguares del manglar en Nayarit (Luja y Zamudio, 2019). Por otro lado, hay dos estudios respecto a depredación: uno donde Luja y Zamudio (2018) reportan la primera evidencia de

depredación del jaguar sobre *Trachemys ornata*, y otro estudio acerca de la dieta del jaguar en los manglares y marismas en un paisaje altamente modificado de la Llanura costera de Nayarit (Luja *et al.* 2020).

En el presente trabajo se utiliza la metodología ya establecida en el CENJAGUAR para estimar el tamaño poblacional del jaguar (*Panthera onca*) y la abundancia relativa de sus presas, lo que aportará datos al proyecto nacional y podrán ser comparados. Además de ser el primer estudio que incluye ecosistema de manglar y de los pocos en zonas altamente fragmentadas fuera de ANP. Por lo tanto, proporcionará la primera información de la situación de los jaguares y sus presas en zonas donde el humano realiza actividades. La información ecológica generada en este estudio es necesaria para tomar decisiones de conservación a nivel paisaje, así como de la conservación integral del jaguar y sus presas fuera de ANP. Por lo tanto, los objetivos e hipótesis del presente estudios son:

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la abundancia, densidad y pérdida de hábitat del jaguar (*Panthera onca*), así como la abundancia relativa de sus presas en una zona del corredor biológico Marismas – Sierra San Juan durante dos periodos de muestreo 2019 y 2020.

Objetivos específicos

1. Estimar la abundancia y densidad del jaguar (*Panthera onca*) en el corredor biológico Marismas – Sierra San Juan.
2. Determinar la diversidad y abundancia relativa de presas del jaguar en el área de estudio.
3. Calcular los cambios de cobertura del terreno del área de estudio entre 1999-2019.

HIPÓTESIS

Como se mencionó anteriormente, la mayoría de trabajos reportan densidades y abundancias de jaguares en macizos forestales grandes y continuos. Este trabajo se realiza en una zona altamente fragmentada y degradada históricamente por actividades humanas. Por lo tanto, la hipótesis que se plantea en esta tesis es que los parámetros de abundancia y densidad de la población de jaguares será al menos 50% menor que aquellos estimados para las poblaciones de jaguares de grandes áreas y menos impactadas, debido a que el área efectiva de muestreo y la superficie de vegetación natural es mucho menor en este sitio que en algunas áreas naturales protegidas. De igual forma, se espera encontrar una baja diversidad y abundancia relativa de presas producto de una tasa de pérdida de hábitat de por lo menos el 20% respecto a 1999, teniendo en cuenta que históricamente en México se han reportado tasas de cambio de por lo menos el 1% anual.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el corredor Marismas – Sierra San Juan, Nayarit, México (Figura 1), dentro de la región Pacífico Centro, zona que ha sido identificada como área prioritaria para la conservación del jaguar por la Alianza Nacional para la Conservación del Jaguar (Ceballos *et al.* 2018).

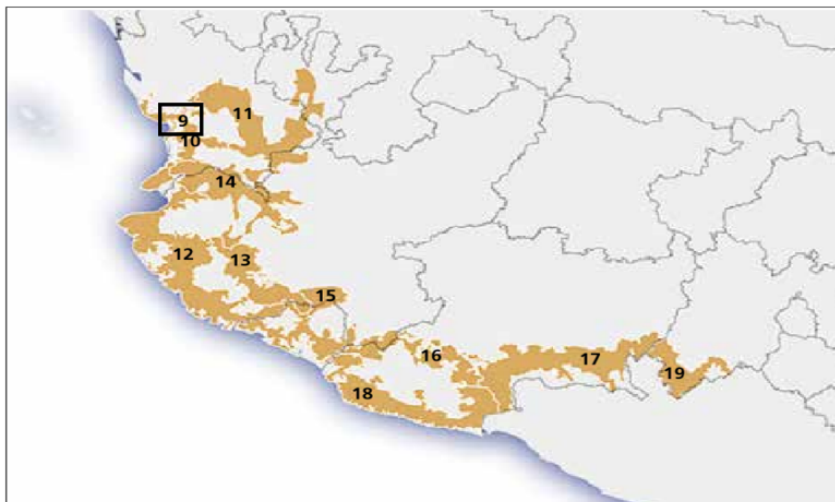


Figura 1. Los números indican los Corredores biológicos en la Región Pacífico Centro: 9) Marismas - Sierra San Juan, donde se realizó el estudio, 10) Sierra San Juan – Sierra Vallejo, 11) APRN Nayarit Oriente, 12) Puerto Vallarta – Sierra Manantlán, 13) APRN Nayarit – Sierra Manantlán, 14) APRN Nayarit Sur, 15) Sierra Manantlán – Colima, 16) Colima – Zicuirán – Infiernillo Norte, 17) Zicuirán – Infiernillo – Sierra Nanchititla, 18) Colima – Zicuirán – Infiernillo Sur, 19) Sierra Nanchititla – Guerrero. Tomado de Ceballos *et al.* 2018.

El muestreo se llevó a cabo en un área de 63 km² ubicada al sur de la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales, entre el ejido Toro Mocho (municipio de Santiago Ixcuintla) y el ejido Laureles y Góngora (municipio de San Blas), en el estado de Nayarit (Figura 2). En el área de estudio el clima es cálido y húmedo, la temperatura promedio anual es de 31.7 °C, y la vegetación predominante es el manglar (*Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*) con parches de bosques caducifolios, vegetación secundaria, tierras de cultivo y tierras para ganado (SEMARNAT-CONAFOR, 2015). Dentro de la zona de estudio, se encuentra La Papalota, que es un Área Destinada Voluntariamente a la Conservación (ADVC), ésta es una Reserva particular establecida en 2008. Tiene una superficie de 368 hectáreas (6% del área de estudio) y representa una isla de vegetación nativa en una matriz de tierras altamente modificadas por las actividades humanas (Luja *et al.* 2017).

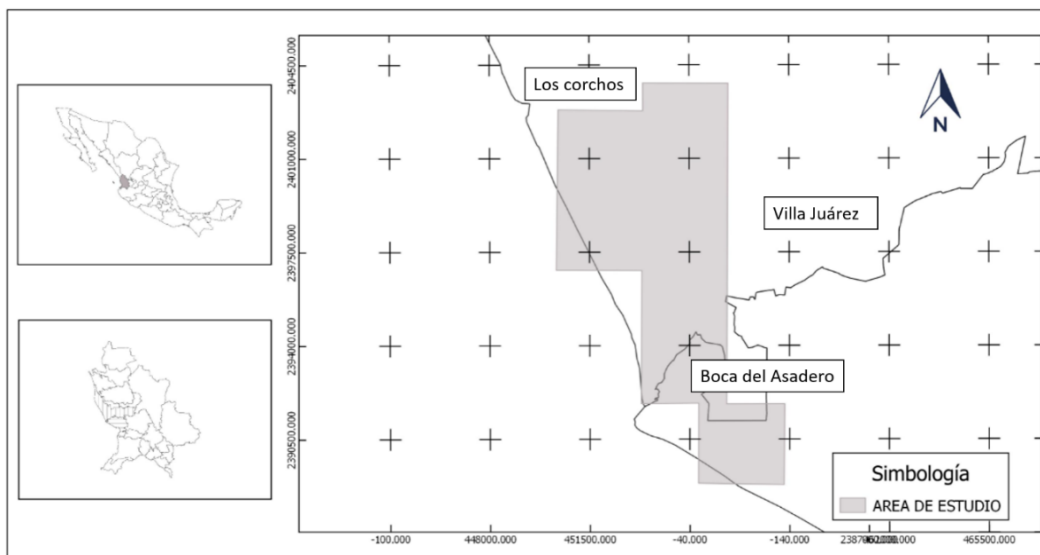


Figura 2. Ubicación del área de estudio en el corredor Marismas – Sierra San Juan, Nayarit. Elaboración propia.

Hasta aquí se presentó una introducción general a la tesis. A continuación se presentan los capítulos: II) An apex carnivore in highly modified environments: The jaguar (*Panthera onca*) in the coastal plain of Nayarit, western Mexico, en el que se describe cómo están las poblaciones tanto del jaguar como de sus presas en comparación con otras zonas de estudio principalmente aquellas que reportan datos obtenidos de ANP, y la pérdida de hábitat del jaguar y sus presas por cambios de cobertura y uso de suelo en una zona del corredor Biológico Marismas - Sierra San Juan que trata sobre cambios de cobertura del terreno del área de estudio que ha existido entre 1999-2019. En el capítulo III se presenta una discusión y conclusión general.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-López, M., Ramos-Frías, J., Rojas-Martínez, A. E., Cornejo-Latorre, C. 2015. First record of jaguar (*Panthera onca*) from the state of Hidalgo, Mexico. *Western North American Naturalist* 75: 520-525.
- Amit, R., Alfaro, L., Carrillo, E. 2009. Relación entre la presencia del jaguar (*Panthera onca*) y de sus presas en el Área de Conservación Guanacastes, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales* 38: 6-10.
- Aranda, M. 1996. Distribución y abundancia del jaguar (*Panthera onca*, Carnivora, Felidae) en el estado de Chiapas. *Acta Zoológica Mexicana* 68: 45-52.
- Berlanga, R. C. A., García, C. R. R., López, B. J., Ruiz, L. A. 2010. Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 72: 7-22.
- Carrera-Treviño, R., Lira-Torres, I., Martínez-García, L., López-Hernández, M. 2016. El jaguar *Panthera onca* (Carnívora: Felidae) en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical* 64: 1451-1468.
- Caso, A., Lopez-Gonzalez, C., Payan, E., Eizirik, E., de Oliveira, T., Leite-Pitman, R., Valderrama, C. 2008. *Panthera onca*. En: Nowell, K., Breitenmoser-Wursten, C., Breitenmoser, U., Schipper, J. (Eds.). *The IUCN Red List of Threatened Species*.

- Castaño-Uribe, C., Balaguera-Reina, S. A. González-Maya, J. F., Zárrate-Charry, D. A., Cepeda, A., Ange, C. 2010. Guía de campo para la conservación de los felinos del Caribe colombiano “Felinos del caribe: identidad biológica y cultural en una ecoregión felina”. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Conservación Internacional Colombia.
- Castaño-Uribe, C., González-Maya, J. F., Zárrate-Charry, D., Ange-Jaramillo, C., Vela-Vargas, I. M. 2013. Plan de conservación de felinos del caribe colombiano: Los felinos y su papel en la planificación regional integral basada en especies clave. Fundación Herencia Ambiental Caribe, ProCAT Colombia, The Sierra to Sea Institute. Santa Marta, Colombia. 78-93 pp.
- Ceballos, G., Chávez, C., Rivera, A., Manterola, C. 2002. Tamaño poblacional y conservación del jaguar en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México. En: Medellín, R. A., Equihua, C., Chetkiewicz, C. L. B., Crawshaw, P. G., *et al.* El jaguar en el nuevo milenio. Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México, Wildlife Conservation Society, México. 403-418 pp.
- Ceballos, G., Oliva, G. 2005. Los mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad. México, D.F.
- Ceballos, G., Chávez C., Zarza, H., Manterola, C. 2005. Ecología y conservación del jaguar en la región de Calakmul. *Biodiversitas* 62: 1-7.
- Ceballos, G., Chávez, C., List, R., Medellín, R., Manterola, C. Rojo, A., Valdez, M., Brousset, D. M., Alcántara, S. M. B. 2006. Proyecto para la conservación y manejo del jaguar en México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Ceballos, G., Chávez, C., Zarza, H. 2010. Censo Nacional del Jaguar y sus presas (CENJAGUAR). Ecociencia. Instituto de Ecología UNAM, México. 01-52 pp.
- Ceballos, G., Chávez, C., Zarza, H. 2011. El jaguar en México. Instituto de Ecología, Universidad Autónoma de México. México
- Ceballos, G., Chávez, C., Zarza, H. 2012. Censo nacional del jaguar y sus presas (1a etapa). CONANP, IE-UNAM, ALIANZA WWF-TELCEL, TELMEX y CONABIO, México.

- Ceballos, G, Monroy, O., Núñez, R., Rueda, P., Saracho, E., Blanco, S., Chávez, C. 2016. Distribución y estado de conservación del jaguar en México: Región Pacífico-Centro: Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Estado de México. En Medellín, R. A., de la Torre, A., Zarza, H., Chávez, C. Ceballos G. (Coord.). El jaguar en el siglo XXI, la perspectiva continental. Fondo de la Cultura Económica, Instituto de Ecología UNAM, México. 47-92 pp.
- Ceballos, G., Zarza, H., Cerecedo-Palacios, G., Lazcano, B. M. M., Huerta, M., de la Torre, A., Rubio, Y., Job, J. 2018. Corredores biológicos y áreas prioritarias para la conservación del jaguar en México. Alianza Nacional para la Conservación del jaguar. México.
- Chávez-Tovar, C., Aranda, M., Ceballos, G. 2006. Jaguar (*Panthera onca*). En: Ceballos, G., Oliva, G. Los mamíferos silvestres de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo de Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 367-370 pp.
- Chávez, C., Ceballos, G. 2006. Memorias del primer simposio el jaguar mexicano en el siglo XXI: Situación actual y manejo, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Alianza WWF-Telcel. Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Chávez, C., Ceballos, G., Amín, M. 2007. Ecología poblacional del jaguar y sus implicaciones para la conservación en la Península de Yucatán. En: Ceballos G, Chávez C, List R, Zarza H. Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Alianza WWF-Telcel/ Universidad Nacional Autónoma de México, México. 91-100 pp.
- Chávez, C., Zarza, H., 2009. Distribución potencial del hábitat del jaguar y áreas de conflicto humano-jaguar en la península de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología* 13: 46-62.
- Chávez, C. 2010. Ecología y Conservación del Jaguar (*Panthera onca*) y el Puma (*Puma concolor*) en la Región de Calakmul y sus Implicaciones para la Conservación de la Península de Yucatán. Tesis de Doctorado. Universidad de Granada, España.

- Chávez, C., Faller, J. C., Zarza, H., Lazcano, M. Navarro, P., Alcerreca, C., Pereira, L., Mendoza, G., Hidalgo, M., Hoogesteijn, A. L., Ceballos, G. 2016. Distribución y estado de conservación del jaguar en México: Región Península de Yucatán: Quintana Roo, Campeche, Yucatán. En Medellín, R. A., de la Torre, A., Zarza, H., Chávez, C. Ceballos G. (Coord.). El jaguar en el siglo XXI, la perspectiva continental. Fondo de la Cultura Económica, Instituto de Ecología UNAM, México. 47-92 pp.
- Coronel-Arellano, H., Lara-Díaz, N. E., López-González, C. A. 2017. Abundancia y densidad de jaguar (*Panthera onca*) en el APFF Meseta de Cacaxtla, Sinaloa, México. *Acta Zoológica Mexicana* 33: 116-119.
- CONAFOR. 2015. Inventario estatal forestal y de suelos-Nayarit 2014. Comisión Nacional Forestal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.
- CONABIO. 2011. Fichas de especies prioritarias. Jaguar (*Panthera onca*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F.
- CONANP. 2011. Monitoreo de Jaguar (*Panthera onca*) en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. SEMARNAT.
- CONANP. 2016. Fichas de evaluación ecológica de áreas naturales protegidas del noroeste de México. México. 240 pp.
- Cruz, E., Palacios, G., Guiris, M. 2007. Situación actual del jaguar en Chiapas. En: Ceballos, G., Chávez, C., List, R., Zarza, H. Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Alianza WWF-Telcel/ Universidad Nacional Autónoma de México, México. 81-89 pp.
- de la Torre, J. A., Medellín, R. A. 2011. Jaguars *Panthera onca* in the Greater Lacandona Ecosystem, Chiapas, Mexico: population estimates and future prospects. *Oryx* 45: 546-533.
- de la Torre, J. A., Ruiz, F., Aquino, A., Hidalgo, M., Woolrich, D., Cruz, E., Palacios, G., Medellín, R. A. 2016. Distribución y estado de conservación del jaguar en

- México: Región Pacífico Sur-Golfo: Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Tabasco. En Medellín, R. A., de la Torre, A., Zarza, H., Chávez, C. Ceballos G. (Coord.). El jaguar en el siglo XXI, la perspectiva continental. Fondo de la Cultura Económica, Instituto de Ecología UNAM, México. 47-92 pp.
- de la Torre, A., González-Maya, J. F., Zarza, H., Ceballos, G., Medellín, R. 2017. The jaguar's spots are darker than they appear: assessing the global conservation status of the jaguar *Panthera onca*. *Oryx* 1-16.
- Di Bitetti, M. S., De Angelo, C., Di Paviolo, A., Blanco, Y. 2008. Local and continental correlates of the abundance of a neotropical cat, the ocelot (*Leopardus pardalis*). *Journal of Tropical Ecology* 24: 189–200.
- Durán, E., Figel, J. J., Bray, D. B. 2010. Una coexistencia incierta: los jaguares y las comunidades de las montañosas boscosas de México. *Unasylva* 61:21-22.
- Emmons, L. H. 1987. Comparative feeding ecology of felids in a neotropical rainforest. *Behav. Ecol. Sociob.* 20: 271–283.
- FAO. 2005. Forest Resource Assessment [serie en internet]; [consultado en 2019]; Disponible en: <http://www.fao.org>.
- Figel, J. J., Ruíz-Gutiérrez, F., Brown, D. E. 2016. Densities and perceptions of jaguars in coastal Nayarit, Mexico. *Wildlife Society Bulletin* 40: 506-513.
- González-Maya, J. F., Zárrate, C. D., Cepeda, A. A., Pineda-Guerrero, A., Vela-Vargas, M., González, M., Cruz-Rodríguez, C. 2013. Ecología y conservación de felinos y presas en el Caribe colombiano. En: Castaño-Uribe C, González-Maya JF, Zárrate-Charry D, Ange-Jaramillo C & Vela-Vargas IM (Eds.). Plan de Conservación de Felinos del Caribe Colombiano: Los felinos y su papel en la planificación regional integral basada en especies clave. Fundación Herencia Ambiental Caribe, ProCAT Colombia, The Sierra to Sea Institute. Santa Marta, Colombia.
- Gutiérrez-González, C. E., Gómez-Ramírez, M. Á., López-González, C. A. 2012. Estimation of the density of the Near Threatened jaguar *Panthera onca* in Sonora, Mexico, using camera trapping and an open population model. *Oryx* 46: 431-437.
- Hall, R. E. 1981. The mammals of North America, John Wiley & Sons, Nueva York.

- Harmsen, B. J., Foster, R. J., Silver, S. C., Ostro, L., Doncaster, C. P. 2010. The ecology of jaguars in the cockscomb basin wildlife sanctuary, belize. En D. W. Macdonald, A. Loveridge (Eds.). *The Biology and Conservation of Wild Felids*. Oxford: Oxford University Press. 403–416 pp.
- Hayward, M. W., Kamler, J. F., Montgomery, R. A., Newlove, A., Rostro-García, S., Sales, L. P., Van Valkenburgh, B. 2016. Prey preferences of the jaguar *Panthera onca* reflect the post-Pleistocene demise of large prey. *Frontiers in Ecology and Evolution* 3: 148.
- Jędrzejewski, W., Robinson, H. S., Abarca, M., Zeller, K. A., Velasquez, G., Paemelaere, E. A. D., *et al.* 2018. Estimating large carnivore populations at global scale based on spatial predictions of density and distribution Application to the jaguar (*Panthera onca*). *PLoS ONE* 13.
- Johnson, T. B., Van Pelt, W. E. 2016. Jaguares en el borde: Evaluación y perspectivas de conservación del jaguar continental. En: Medellín, R. A., de la Torre, J. A., Zarza, H., Chávez, C. y Ceballos, G. 2016. *El jaguar en el siglo XXI. La perspectiva continental*. Fondo de Cultura Económica, Instituto de Ecología, UNAM, México. 27-46 pp.
- Karanth, K. U., Nichols, J. D., Kumar, N. S., Link, W. A., Hines, J. E. 2004. Tigers and their prey: predicting carnivore densities from prey abundance. *Proc Natl Acad Sci USA* 101: 4854–4858.
- Kelly, M. J., Noss, A. J., Di Bitetti, Maffei, L., Arispe, R. L., Paviolo, A., De Angelo, C. D., Di Blanco, Y. E. 2008. Estimating puma densities from camera trapping across three study sites: Bolivia, Argentina, and Belize. *Journal of Mammalogy* 89: 408-418.
- Lavariega, M. C., Martín-Regalado, N., Monroy-Gamboa, A. G., Briones-Salas, M. 2017. Estado de conservación de los vertebrados terrestres de Oaxaca, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 4: 135-146.
- Leopold, A.S. 2000. *Fauna silvestre de México*. Editorial Pax, México.
- Lira, T. I., Ramos-Fernández, G. 2007. Situación del jaguar en la región de los Chimalapas, Oaxaca. En: Ceballos, G., Chávez, C., List, R., Zarza, H. *Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas*.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Alianza WWF-Telcel/ Universidad Nacional Autónoma de México, México. 71-80 pp.
- López-González, C. A., Miller, B. J. 2002. Do jaguars (*Panthera onca*) depend on large prey? *West. North Am. Nat.* 62: 218–222.
- Luja, V. H., Navarro, C. J. Torres, C. L. A., Cortés, H. M., Vallarta, C. I. L. 2017. Small Protected Areas as Stepping-Stones for Jaguars in Western Mexico. *Tropical Conservation Science* 10: 1-8.
- Luja, V. H., Zamudio, M. G. 2018. *Trachemys ornata* (Ornate Slider) Predation. *Herpetological Review* 49: 530–531.
- Luja, V. H., Vallarta I., Cortés M. 2020. Predation events of the jaguar (*Panthera onca*) recorded with camera traps in mangroves of Nayarit, western Mexico. *The Wild Felid Monitor* 13: 15-17.
- Luja, V. H., Zamudio M. G. 2019. Janis y los jaguares del manglar. Universidad Autónoma de Nayarit. 45 pp.
- Medellín, R. A., de la Torre, J. A., Zarza, H., Chávez, C. y Ceballos, G. 2016. El Jaguar en el siglo XXI. La perspectiva continental. Fondo de Cultura Económica, Instituto de Ecología, UNAM, México.
- Monroy-Vilchis, O., Rodríguez-Soto, C., Zarco-González, M., Urios, V. 2007. Distribución, uso de hábitat y patrones de actividad del puma y jaguar en el Estado de México. En: Ceballos, G., Chávez, C., List, R., Zarza, H. Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Alianza WWF-Telcel/ Universidad Nacional Autónoma de México, México. 59-69 pp.
- Monroy-Vilchis, O., Sánchez, O., Aguilera-Reyes, U., Suárez, P., Urios, V. 2008. Jaguar (*Panthera onca*) in the state of Mexico. *The Southwestern Naturalist* 53: 533-537.
- Mondolfi, E., and Hoogesteijn, R. 1986. Notes on the Biology and Status of the Jaguar in Venezuela. National Wildlife Federation. Washington, DC.
- Navarro-Serment, C. J., López-González, C. A., Gallo-Reynoso, J. P. 2005. Occurrence of jaguar (*Panthera onca*) in Sinaloa, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 50: 102-106.

- Núñez, R., Miller, B., Lindzey, F. 2002. Ecología del jaguar en la Reserva de la Biosfera de Chamela-Cuixmala, Jalisco, México. En: Medellín, R. A., Equihua, C., Chetkiewicz, C. L. B., Crawshaw, P. G., *et al.* El jaguar en el nuevo milenio. Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México, Wildlife Conservation Society, México. 98-108 pp.
- O'Brien, T. G. 2011. Abundance, density and relative abundance: A conceptual framework. Wildlife conservation society.
- Rabinowitz, A. R., Nottingham Jr., B. G. 1986. Ecology and behavior of the jaguar (*Panthera onca*) in Belize, Central America. *Journal of zoology* 210: 149-159.
- Rabinowitz, A., Zeller, K. A. 2010. A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological conservation* 143: 939-945.
- Rabinowitz, A. 2014. An indomitable beast: The remarkable journey of the jaguar. Washington, DC: Island Press.
- Ripple, W. J., Estes, J. A., Beschta, R. L., Wilmers, C. C., Ritchie, E. G., Hebblewhite, M. 2014. Status and Ecological Effects of the World's Largest Carnivores. *Science* 343.
- Rosas-Rosas, O. C., López-Soto, J. H. 2002. Distribución y estado de conservación del jaguar en Nuevo León, México. En: Medellín, R. A., Equihua, C., Chetkiewicz, C. L. B., Crawshaw, P. G., *et al.* El jaguar en el nuevo milenio. Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México, Wildlife Conservation Society, México. 393-402 pp.
- Rubio, Y., Medellín, R., Bárcenas, H., de la Parra, A., Moctezuma, O., López, C., Moreno E., List, R. 2016. Distribución y estado de conservación del jaguar en México: Región Noroeste: Sonora, Sinaloa (marginamente Chihuahua y Durango). En Medellín, R. A., de la Torre, A., Zarza, H., Chávez, C. Ceballos G. (Coord.). El jaguar en el siglo XXI, la perspectiva continental. Fondo de la Cultura Económica, Instituto de Ecología UNAM, México. 47-92 pp.
- Sanderson, E. W., *et al.* 2002. Planning to save a species: The jaguar as a model. *Conservation Biology* 16: 58-72.

- Sunquist, M., Sunquist, F. 2002. *Wild Cats of the World*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- SEMARNAT. 2006. Proyecto para la conservación y manejo del jaguar en México. SERIE: Proyectos de recuperación de Especies Prioritarias. No. 14
- SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificación por su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT-CONAFOR. 2015. Inventario estatal forestal y de suelos-Nayarit 2014. México: SEMARNAT.
- Seymour, K.L. 1989. *Panthera onca*. *Mammalian species* 340: 1-9.
- Silver, S. C. Ostro, L. E. T., Marsh, L. K., Maffei, L. Noss, A. J., Kelly, M. J., Wallace, R. B., Gómez, H. y Ayala, G. 2004. The use of camera traps for estimating jaguar *Panthera onca* abundance and density using capture/recapture analysis. *Oryx* 38:148-154.
- Sharma, R. K., Jhala, Y., Qureshi, Q., Vattakaven, J., Gopal, R., Nayak, K. 2009. Evaluating capture-recapture population and density estimation of tigers in a population with known parameters. *Animal conservation*.
- Swank, W.G., Teer, J., 1989. Status of the jaguar–1987. *Oryx* 23: 14-21.
- Valenzuela-Galván, D., Castro-Campos, F., Servín, J., Martínez Barona, M., Martínez-Montes, J. C. 2015. First contemporary record of jaguar in Morelos State and the Sierra de Huautla Biosphere Reserve, Mexico. *Western North American Naturalist* 75: 370–373.
- Valverde, V. M. C. 2004. Balam. El jaguar a través de los tiempos y los espacios del universo maya. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Filológicas-Centro de estudios Mayas. México.
- Walker, S. A., Novaro, J. A., Nichols J. D. 2000. Consideraciones para la estimación de abundancia de poblaciones de mamíferos. *Mastozoología Neotropical* 7: 73-80.

- Watkins, A., Noble, J., Foster, R. J., Harmsen, B. J., Doncaster, C. P. 2015. A spatially explicit agent-based model of the interactions between jaguar populations and their habitats. *Ecological Modelling* 306: 268–277.
- Zarza, H., Caso, A., Ávila, D., Rosas-Rosas, O., Morales, J., Ramírez, E. 2016. Distribución y estado de conservación del jaguar en México: Región Noreste-Centro: Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y Puebla. En Medellín, R. A., de la Torre, A., Zarza, H., Chávez, C. Ceballos G. (Coord.). El jaguar en el siglo XXI, la perspectiva continental. Fondo de la Cultura Económica, Instituto de Ecología UNAM, México. 47-92 pp.
- Zamudio, M. G., Nájera, O., V. H. Luja. 2020. Perspectivas sobre el jaguar (*Panthera onca*) en dos comunidades insertas en áreas para su conservación en Nayarit, México. *Sociedad y Ambiente* 23:1-19.

CAPÍTULO 2

AN APEX CARNIVORE IN HIGHLY MODIFIED ENVIRONMENTS: THE JAGUAR (*Panthera onca*) IN THE COASTAL PLAIN OF NAYARIT, WESTERN MEXICO

Diana Jatziri Guzmán-Báez, Víctor H. Luja, Rocío Vega-Frutis and Oyólsi Nájera

Diana Jatziri Guzmán-Báez Estudiante del Programa de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias. Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, Km. 9 Carretera Tepic-Compostela, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit, México.

Víctor H. Luja (Corresponding author) Unidad Académica de Turismo, Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura S/N., C. P. 63000, Tepic, Nayarit, México. Email: lujastro@yahoo.com. orcid.org/0000-0001-7480-7278

Rocío Vega-Frutis Programa Académico de Biología. Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, Km. 9 Carretera Tepic-Compostela, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit, México. orcid.org/0000-0002-3393-5860

Oyólsi Nájera Cuerpo Académico Recursos Naturales, Secretaria de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit. C.P. 63155, Tepic, Nayarit, México. orcid.org/0000-0002-8637-9482

Sometido a la revista Oryx

Abstract The Marismas-Sierra San Juan corridor located in the coastal area of Nayarit, Mexico, is an important area for the jaguar (*Panthera onca*) conservation because it provides connectivity of subpopulations between the North and the South Pacific regions of Mexico. However, the development of the agricultural frontier as well as shrimp farms are diminishing the habitat of the jaguar and its prey. This is the first study performed with jaguars in mangrove ecosystems and one of the few in highly fragmented areas outside natural protected areas. Our objective was to estimate, using camera traps, the population size of the jaguar, and the relative abundance of its prey (2019-2020), calculating changes in land cover in this area between 1999-2019. A total of 11,963 photographic records were obtained recording 16 species of medium and large mammals, 11 of birds, and 1 of reptile, with a sampling effort of 2740 trap days. Jaguar density was high and practically the same for both years (2019 = 5.3 ± 0.92 ind. / 100 km²; 2020 = 5.3 ± 0.18 ind. / 100 km²). Agricultural lands and shrimp farms together with human settlements increased since 1999; agricultural lands increased to 2,881.36 ha (50%); while the mangroves decreased to 1510.12 ha. Although there is a resident subpopulation of jaguars with apparent high densities, the habitat is disappearing, and immediate conservation actions must be taken, or jaguar subpopulation connectivity will be lost, and genetic fitness will be decreased.

Keywords Density, habitat loss, mangroves, mammals, Nayarit, preys.

Introduction

Humans have modified more than 50% of terrestrial ecosystems (Hooke et al., 2012; Jacobson et al., 2019), generating severe negative impacts on the biotic communities that inhabit them (Foley et al., 2005; Santos & Tellería, 2006; Klein et al., 2011; Nagendra et al., 2013). Impacts vary depending on the type of ecosystem and biotic community but can have effects as negative as the local extirpation of wild populations and extinction (Dirzo et al., 2014; Cervelli et al., 2017; Newbold et al., 2018; Bradshaw et al., 2021). Large carnivores have been particularly affected by habitat modification/loss (Loyola et al., 2008; Chávez y Zarza, 2009; Ripple et al., 2014; Zanin et al., 2015a; Figel et al., 2019), also suffering from synergistic effects such as hunt, retaliatory killing, and poisoning (Patterson et al., 2004; Ripple et al., 2014; Jędrzejewski et al., 2017). Most big cats face serious conservation problems (Brodie, 2009; Zanin et al., 2015b; Holland et al., 2018). In a scenario where the human is present practically everywhere on earth, it is urgent and necessary to study the dynamics of these species not only in big natural reserves but in anthropized landscapes to be able to propose alternatives that allow coexistence with wild species.

The jaguar (*Panthera onca*) is the largest feline in the American continent (Rabinowitz, 2014), historically was distributed from the southern United States to northern Argentina (Seymour, 1989; Swank & Teer, 1989). In Mexico, its current distribution covers almost the entire historical distribution area that was from Sonora to Chiapas on the Pacific slope, and from Tamaulipas to Campeche and the Yucatan Peninsula on the Gulf of Mexico slope. Currently, its original range in Mexico has decreased 60%, with an approximate estimate of 4,000 to 5,000 jaguars in the wild (Medellín et al., 2016). In Mexico, jaguar subpopulations becoming isolated and extirpated mainly due to illegal hunting, the elimination of its prey, and the destruction and fragmentation of its habitat due to the advance of the agricultural and livestock frontier, and infrastructure (Ceballos et al., 2012). At a global level, the International Union for the Conservation of Nature (IUCN) classifies it as a near threatened species (Caso et al., 2008), and in Mexico it is classified as an Endangered species (SEMARNAT, 2010). However, a recent study in which the situation of each of the large jaguar subpopulations

throughout the continent was analyzed using the IUCN categories, determined that the subpopulation of the Sierra de Tamaulipas and Gulf of Mexico is within the category of "critically threatened" and the populations of the Mayan jungle and the Mexican Pacific as "threatened" (De la Torre et al., 2017).

While in the protected natural areas in Mexico the ecology and biology of the jaguar has been well studied (e.g., Núñez et al., 2002; Amín, 2004; Chávez, 2010; De la Torre & Medellín, 2011; CONANP, 2011, 2016; Ceballos et al., 2012; Gutiérrez-González et al., 2012; Dueñas-López, 2013; Carrera-Treviño et al., 2016; Coronel-Arellano et al., 2017; Luja et al., 2017) the information outside protected areas on fragmented landscapes is scarce. Because human activities are present on most of the earth's surface (Foley et al., 2005; Hooke et al., 2012; Bradshaw et al., 2021) it is particularly important to carry out studies outside the protected natural areas for the implementation of effective conservation strategies (Athreya et al., 2013; Hernández-SaintMartín et al., 2015).

To achieve conservation efforts that adequately protect jaguar subpopulations and help us understand the dynamics that are established between humans, the jaguar activities and other wild species, accurate estimates of the size of their subpopulations in different habitats are needed. This work is novel for jaguars that inhabit mangrove ecosystems in western Mexico and one of the few that have been carried out with the species outside natural protected areas. The objective of this study was to estimate the jaguar's subpopulation size of the study area, and the relative abundance of its prey, in a highly fragmented area historically degraded by human activities within the Marismas-Sierra San Juan biological corridor, Nayarit, and the loss of jaguar habitat in our study area between 1999-2019.

Study area

The study area is located in the Marismas - Sierra San Juan corridor, Nayarit within the Central Pacific region, an area that has been identified as a priority area for jaguar

conservation by the National Alliance for the conservation of the jaguar (Ceballos et al., 2018).

The camera trapping study was located to the south of the Marismas Nacionales Biosphere Reserve, between the town of Toro Mocho (Municipality of Santiago Ixcuintla) and the towns of Laureles and Góngora (Municipality of San Blas), in the state of Nayarit (Figure 1). The climate is warm and humid, the average annual temperature is 31.7 ° C, and the predominant native vegetation is the mangrove (*Avicennia germinans* and *Conocarpus erectus*) with patches of deciduous forests, secondary vegetation, farmland, and livestock land (SEMARNAT-CONAFOR, 2015).

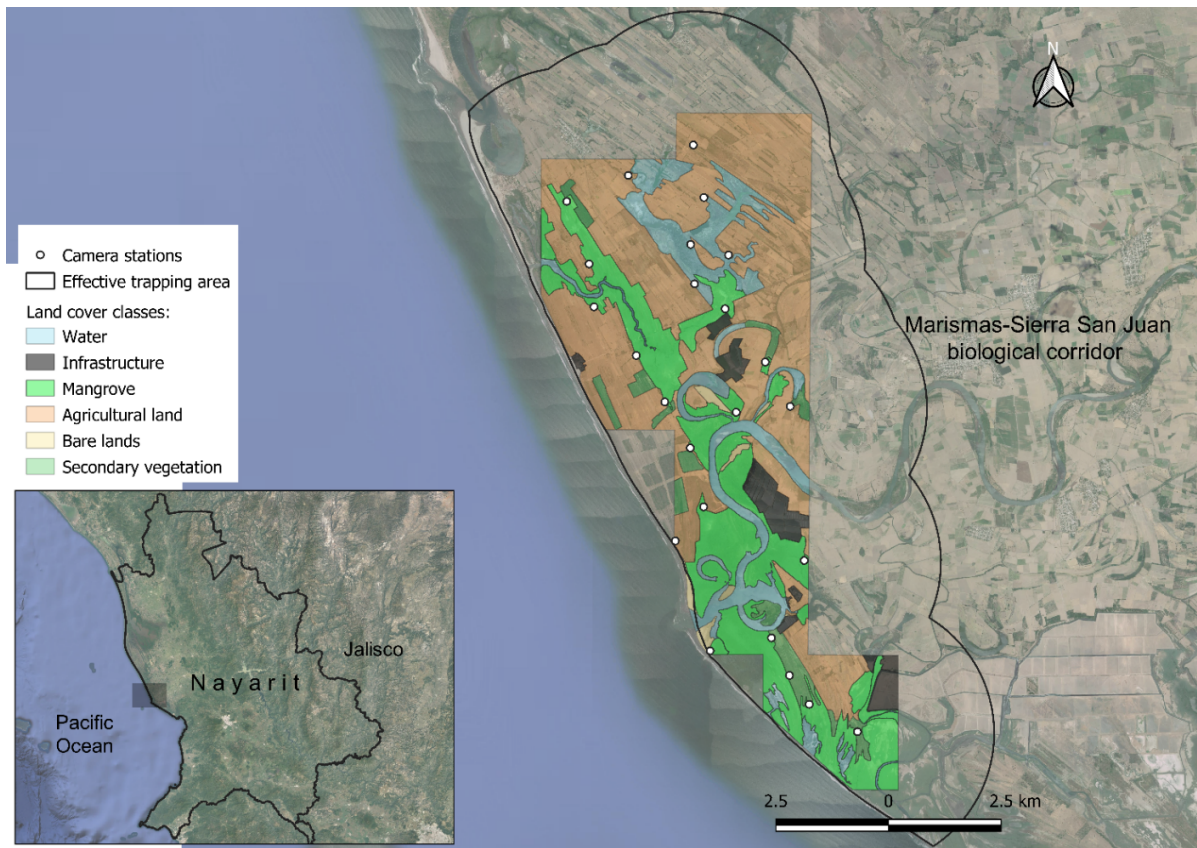


Fig. 1 Camera-trap sampling design and location of the study area in the Marismas - Sierra San Juan corridor, Nayarit, México.

Methods

Field work

Camera trapping surveys were accomplished between January and March 2019 and January and March 2020. During both surveys the sampling period did not exceed 60 consecutive days, since this could result in a violation of the closed population assumption (Karanth & Nichols, 1998). Camera trapping methods followed the protocol of the National Jaguar Census (CENJAGUAR) which has been used in other jaguar studies and meets capture-recapture models' assumptions (Chávez et al., 2007).

Using a Geographic Information System QGIS Desktop version 3.4.4. (QGIS, 2020) and Google Earth, the study area was divided into seven sampling quadrants of 9 km² each. In each 9 km² quadrant, three sites were chosen to place a sampling station, based on evidence of the presence of jaguars such as tracks and scrapes. In each quadrant we placed two single-camera stations and one double-camera station. We set a total of 25 camera stations that were separated by a minimum of 1 km. We attached 28 Cuddeback Color X-Change camera traps to trees 40 to 50 cm above ground level and placed them perpendicular to trails travelled by wildlife (Chávez et al., 2013).

Prey relative abundance

For the organization and analysis of the photographs, the protocol described by Sanderson and Harris (2012) was followed. Relative abundance was calculated using the Relative Abundance Index (RAI) using the formula proposed by Maffei et al., (2004) and Jenks et al., (2011): $RAI = (C / SE) \times 100$ where C = number of photographic captures, SE = sampling effort (number of cameras per monitoring day) per unit of time and per 100 camera days (standard correction factor). Photographs of the same species in the same station within a period greater than 60 minutes were considered as independent photographic records. This protocol was applied to decrease the dependence of the data when it is not clear if a series of photographs corresponded to the same individual, so that the photographs taken within a period of 60 minutes were

considered as a single record (Di Bitetti et al., 2014). Since it is debateable whether capture rates reflect abundance (Mandujano & Pérez-Solano, 2019), we did not use them to make inferences about population size, but rather for descriptive purposes. We also calculated naïve occupancy, which is defined as the proportion of cameras in which a species is registered in relation to the total number of cameras used during monitoring (O'Connell & Bailey, 2011).

Jaguar density

Jaguar individuals were identified from their spot and rosette patterns which are unique for each individual (Karanth & Nichols, 1998). Then, the capture history of each individual was constructed, using a matrix format to record the presence or absence of each one on each sampling occasion. We decided to establish a period of 10 days to define the “sampling occasion” (Chávez et al., 2013). Therefore, we established a standard that it is an average time in which an individual jaguar is recaptured over the camera-trapping effort. We analyzed the matrix with the CAPTURE program which reviews the capture history using several tests of statistical models whereby the model M_0 assumes all members of the population are equally at risk of capture on every trapping occasion, the M_h which assumes capture probabilities vary by individual animal, M_t which assumes capture probabilities vary with time, M_b which assumes capture probabilities vary by behavioral response to capture, and combinations of these. The model selection algorithm selects the model most appropriate for the given data set, and the estimation of abundance is performed under this model (Rexstad & Burnham, 1992). Finally, to estimate the jaguar density, the abundance (previously estimated with CAPTURE) was divided by the effective trapping area (Silver et al., 2004). To estimate the Effective Trapping Area (ETA), we generated a buffer area for each trapping station, which consisted of a circle with a radius equal to the Half Mean Maximum Distance Moved (HMMDM). The maximum movement distance was estimated for each male individual that was captured at more than one station. The total area covered by the stations and its buffer area were calculated, thus estimating

the effective trapping area, this was accomplished with the QGIS program (Silver et al., 2004).

Land use and land cover changes

The analyses of the land use and land cover changes were conducted from the visual interpretation of digital orthophotos obtained from the National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI), scale 1:75,000 of 1999 and images from Google Satellite 2019, using the geographic information system QGIS Desktop version 3.4.4. We classify the land cover in six classes: water bodies, infrastructure, agricultural land, mangrove, bare land and secondary vegetation. We obtained the area for each land cover class (ha) for the years 1999 and 2019, the percentage they represented with respect to the extension of the study area in each year, as well as the change that occurred in each land cover in the 1999 period compared to 2019. We also obtained the annual change rate which shows the increase, or decrease, of hectares per year for each class. In the analysis we used the equation proposed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) in 1996 (Ruiz et al., 2013), and thus calculated the annual rate of change as:

$$Tasa = \left[\frac{S_2}{S_1} \right]^{1/n} - 1$$

Where: S_2 = area on date 2, S_1 = area on date 1, n = is the number of years between the two dates, multiplied by 100 to express it as a percentage.

We constructed matrices of transition and probability of transition of the land cover classes of the two analysis dates by applying Markov chains, a stochastic model in which it is assumed that the change in the coverage classes depends on the state (class) immediately prior to the change (Balzter, 2000).

Results

A total of 11,963 photographic records were obtained, of which 2337 (19.53%) were independent. We recorded 16 species of medium and large mammals, 11 of birds, and one reptile, with a sampling effort of 2740 trap days. The identified species were classified into 13 orders and 19 families. The most represented order was Carnivora, with 3 families and 9 species (Table 1). Of the 25 remaining wildlife species (excluding cattle, humans and dogs), five species (20%) are considered within some risk category. In addition, we recorded 4 out of 6 (66.6%) of the wild felines reported in Mexico. Humans were recorded in 100% of the camera traps, jaguars and ocelots in 84% and cattle in 72%.

Table 1. Taxonomic list, risk category according to NOM-059-SEMARNAT-2010: P = in danger of extinction, A = threatened and Pr = subject to special protection. Relative abundance and naïve occupation of the species found in the study area.

Taxon	Common name	Risk category	Relative abundance	Naïve occupation
ACCIPITRIDAE				
<i>Rostrhamus sociabilis</i>	Snail kite		0.04	0.04
ARAMIDAE				
<i>Aramus guarauna</i>	Limpkin		0.04	0.04
ARDEIDAE				
<i>Egretta tricolor</i>	Tricolored Heron		0.04	0.04
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Black-crowned Night-Heron		0.21	0.16
<i>Tigrisoma mexicanum</i>	Bare-throated Tiger-Heron	Pr	0.04	0.04

Table 1. Continued

Taxon	Common name	Risk category	Relative abundance	Naïve occupation
CATHARTIDAE				
<i>Cathartes aura</i>	Turkey vulture		0.08	0.08
<i>Coragyps atratus</i>	Black vulture		0.08	0.04
CRACIDAE				
<i>Ortalis wagleri</i>	Rufous-bellied Chachalaca		0.94	0.36
FALCONIDAE				
<i>Caracara cheriway</i>	Caracara		0.12	0.04
SCOLOPHACIDAE				
<i>Tringa semipalmata</i>	Willet		0.04	0.04
THRESKIORNITIDAE				
<i>Eudocimus albus</i>	White Ibis		0.89	0.16
BOVIDAE				
<i>Bos taurus</i>	Cattle		19.76	0.72
CANIDAE				
<i>Canis latrans</i>	Coyote		3.33	0.56
<i>Canis lupus</i>	Dog		2.35	0.44
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Gray fox		0.04	0.04
CERVIDAE				
<i>Odocoileus virginianus</i>	Whitetail deer		4.49	0.56

Table 1. Continued

Taxon	Common name	Risk category	Relative abundance	Naïve occupation
DASYPODIDAE				
<i>Dasypus novemcinctus</i>	Armadillo		0.55	0.24
DIDELPHIDAE				
<i>Didelphis virginiana</i>	Opossum		1.02	0.28
FELIDAE				
<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelot	P	3.85	0.84
<i>Lynx rufus</i>	Bobcat		1.28	0.32
<i>Panthera onca</i>	Jaguar	P	5.13	0.84
<i>Puma yagouaroundi</i>	Yaguarundi	A	0.12	0.04
HOMINIDAE				
<i>Homo sapiens</i>	Human		40.3	1
LEPORIDAE				
<i>Sylvilagus cunicularius</i>	Cottontail		11.85	0.48
PROCYONIDAE				
<i>Nasua narica</i>	Coati		2.09	0.64
<i>Procyon lotor</i>	Raccoon		0.68	0.16
TAYASSUIDAE				
<i>Pecari tajacu</i>	Collared peccary		0.47	0.28

Table 1. Continued

Taxon	Common name	Risk category	Relative abundance	Naïve occupation
IGUANIDAE	Green iguana	Pr	0.04	0.04
<i>Iguana iguana</i>				

Prey relative abundance

For the analysis of relative abundance of jaguar prey, a total of 891 photographic records were obtained, of which 525 were independent (photographs of the same species in the same station within a period greater than 60 minutes), and 10 species were recorded. Photographic records of humans, domestic animals (cattle and dogs), some carnivores (coyote, bobcat, ocelot, jaguarundi and gray fox) were not included, since these species have not been reported as potential prey of the jaguar. Based on what was obtained in a study of the jaguar diet in mangroves and marshes of Nayarit (Luja et al., 2020), the species of birds of the Ardeidae and Cracidae families were also considered as prey. The most frequently captured specie was the cottontail (*Sylvilagus cunicularius*, $n = 277$, RAI = 52.7), the white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*, $n = 105$, RAI = 20) and the coati (*Nasua narica*, $n = 49$, RAI = 9.33, Table 2).

Table 2. IP: independent photographs, relative abundance and occupation of some jaguar preys in the Marismas-Sierra San Juan corridor, Nayarit.

Species	IP	Relative abundance	Occupation
Cottontail	277	52.7	.48
Whitetail deer	105	20	.56
Coati	49	9.3	.64
Opossum	24	4.5	.28
Rufous-bellied	22	4.1	.36
Chachalaca			
Racoon	16	3.0	.16
Armadillo	13	2.4	.24
Collared peccary	11	2.1	.28
Hérons	7	1.3	.20
Iguana	1	0.1	.04

Jaguar density

In the first camera trapping survey period (2019) we identified 7 individuals: five females: H1, H2, H3, H4 juvenile, H5, and two males: M1, and M2. In the second survey period (2020) we recaptured the H1, H2 and H3 females, and the M1 and M2 males from the first sample, in addition to a new female, H6.

After the analysis with CAPTURE, we determined the model that best fit the data for the 2019 sampling was the M_{th} model: population estimate under temporal variation and individual heterogeneity in the capture probabilities, with an abundance of $N = 6-10$ individuals with a standard error of 0.92. While for the 2020 sampling period, the model that best fit the data was the null model M_0 : the probability of capture is the same for all individuals and is not influenced by environment, time or response of individuals, with an abundance of $N = 6$ individuals with a standard error of 0.18. A 95% confidence interval applied to both models. Half of the average maximum moving distances was 3 km. The effective trapping area (ETA) was 111.57 km². Finally, the density ($D = N /$

ETA) in 2019 was 5.3 ± 0.92 (mean \pm standard error) individuals / 100 km², and in 2020 it was 5.3 ± 0.18 individuals / 100 km².

Land use and land cover changes

In 1999, the agricultural land class represented 39% (2331.34 ha) of the surface under study, followed by the mangrove class with 35% (2065.31 ha). For the year 2019 (20 years of difference), these covers changed their surfaces: agricultural lands increased to 2,881.36 ha (50%); while the mangroves decreased to 1510.12 ha (26%; Table 3).

Table 3. Hectares and percentage of each type of land cover for the years 1999 and 2019, their respective annual change rate and trend for 2029.

Class	Hectares 1999	%	Hectares 2019	%	Change	Annual change rate (ha/year)	Tendency 2029
Agricultural land	2331.34	39	2881.36	50	550.02	27.501	3156.36
Bare land	117.67	2	65.96	1	-51.71	-2.5855	40.16
Mangrove	2065.31	35	1510.12	26	-555.19	-27.7595	1232.62
Infrastructure	58.83	1	262.59	5	203.76	10.188	364.39
Water bodies	1017.44	17	827.17	14	-190.27	-9.5135	732.07
Secondary vegetation	376.67	6	266.83	5	-109.84	-5.492	211.93

With the transition matrix, which shows how many hectares of each class in time 1 (1999) changed to another class in time 2 (2019), we determined that in 2019, 1283.8 ha of mangroves remained unchanged. However, over the course of 20 years, 285 ha of this kind of land cover were replaced by agricultural land (Table 4).

Table 4. Transition matrix.

Class	Bare land	Infrastructure	Mangrove	Agricultural land	Bare land	Secondary vegetation
Water bodies	666.86	0.66	160.37	109.79	19.56	18.55
Infrastructure	0.04	57.66	0.02	0.92	0.00	0.00
Mangrove	118.06	58.99	1283.83	285.07	19.17	163.26
Agricultural land	32.15	53.67	47.56	2168.10	0.02	25.33
Bare land	5.94	11.45	9.43	60.56	27.19	2.75
Secondary vegetation	3.29	78.80	7.33	229.96	0.00	56.70

Finally, according to the transition probability matrix with Markov chains, we determined that there is a 67% probability that the mangrove habitat will remain by the year 2039, while there is a 15% probability that these areas will be replaced entirely by agricultural lands over the same time period (2019-2039; Table 5).

Table 5. Probability matrix with Markov chains, where each digit (multiplied by 100 to convert to a percentage) shows that there is a probability that each class will be replaced by another class by the year 2039.

Class	Water bodies	Infrastructure	Mangrove	Agricultural land	Bare lands	Secondary vegetation
Water bodies	0.68	0.00	0.16	0.11	0.02	0.02
Infrastructure	0.00	0.98	0.00	0.02	0.00	0.00
Mangrove	0.06	0.03	0.67	0.15	0.01	0.08
Agricultural land	0.01	0.02	0.02	0.93	0.00	0.01
Bare land	0.05	0.10	0.08	0.52	0.23	0.02
Secondary vegetation	0.01	0.21	0.02	0.61	0.00	0.15

Discussion

Despite living in an area highly modified by human activities, a resident and breeding subpopulation of jaguars composed by five adult females, one subadult female, and two adult males was identified. Population size estimates were consistent during both periods (5.3 adult individuals / 100 km²). Surprisingly, our estimates surpasses jaguar population estimates obtained for huge natural protected areas, for example Montes Azules Biosphere Reserve, Chiapas (4.6 ± 1.6 / 100 km²; De la Torre & Medellín, 2011), the Cacaxtla Plateau Flora and Fauna Protection Area, Sinaloa (1.59 / 100 km²; Coronel-Arellano et al., 2017), Jaguar del Norte Reserve, Sonora (1.05 ± 0.4 / 100 km²; Gutiérrez-González et al., 2012), Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, Jalisco (3.5 / 100 km²; Núñez et al., 2002), and Marismas Nacionales Biosphere Reserve, Nayarit (4.5 / 100 km² and 2-4 / 100 km²; CONANP, 2011; CONANP, 2016 respectively). To achieve the jaguar conservation objectives, it is important to estimate these population parameters, not only in natural protected areas, but also in areas outside them, since these can provide connectivity, act like steppingstones (Luja et al., 2017), and therefore support the genetic exchange needed for fitness of a species (Rabinowitz & Zeller, 2010). In a scenario where more than a half of the Earth's surface has been modified by human activities (Crutzen, 2006), we need to understand to what extent the jaguar can persist in unprotected human-use areas (Boron et al., 2016).

Some possible explanations for jaguars surviving in anthropized environments is that there exist good prey populations and that hunting for both prey and jaguars is low (Boron et al., 2016; Polisar et al., 2016; Verdade et al., 2016). To date, we are not aware of recent jaguar hunting (for the last 30 years) and subsistence hunting pressure for prey in the region appears to be targeting rabbits, that are abundant.

The mammal community in the area is diverse. Eight species of Carnivora were recorded, which is equivalent to 47% of those reported for Nayarit (Ramírez-Silva et al., 2016). We obtained the first gray fox *Urocyon cinereoargenteus* record for the municipality of Santiago Ixcuintla and just the second in 10 years in the Pacific coastal plain of Nayarit (Guzmán-Báez & Luja, 2019). Among the recorded carnivores, the felines stand out. We recorded four (jaguar, bobcat *Lynx rufus*, ocelot *Leopardus*

pardalis and jaguarundi *Puma yaguaroundi*) of the six wild felids that are distributed in Mexico. Ten species were recorded through our camera traps as available prey to the jaguar in our study area. The prey most frequently recorded was the cottontail *Sylvilagus cunicularius* ($n = 277$, IAR = 52.7), white-tailed deer *Odocoileus virginianus* ($n = 105$, IAR = 20), and the coati *Nasua narica* ($n = 49$, IAR = 9.33), species commonly reported as prey for the jaguar (Hayward et al., 2016). Although it is not frequent, the jaguar also preys on carnivores such as coyotes and grey fox (Hayward et al., 2016) and even ocelots (Perera-Romero et al., 2020), all species recorded here. Moreover, we also recorded eleven species of birds, of which at least three (black vulture *Coragyps atratus*, white heron *Ardea alba* and American stork *Mycteria americana*) are part of the jaguar diet in the region (Luja et al., 2020). It has even been recorded that specimens of this subpopulation feed on freshwater turtles (Luja and Zamudio, 2018). The jaguars of the coastal plain of Nayarit can be considered as opportunistic predators that have a good and diverse prey base that still subsists in a matrix highly modified by human activities. But how modified is the landscape?

Berlanga et al., (2010) mention that during the last decades, aquaculture has intensively increased in the region. Ponds for shrimp (shrimp farm) results in a reduction of natural wetland areas, such as marshes. In this study, the land cover that we call infrastructure, which includes both human settlements and shrimp farms, 20 years ago covered an area of 58.8 ha (1%). By 2019 it covered an area of 262.6 ha (5%) of the total study area, becoming one of the land conversion types that is most affecting the habitat of the jaguar and its prey, only after agricultural lands covering half of the study area in 2019, with an area of 2,881 ha (50%). In addition, in 1999 mangrove habitat covered 2065.3 ha, which corresponded to 35% of the area, but in 2019 mangrove habitat comprised just 1510 ha, that is, 26% of the area. This 9% decrease of mangrove habitat with respect to the year 1999 was due in part to 344 ha of the area being replaced with agricultural lands and shrimp farms. This pattern of mangrove loss is consistent with several locations around the globe, where shrimp farms are replacing mangroves by converting them “from wetlands to wastelands” (Thornton et al., 2003). The transformation of natural vegetation into shrimp farms and crops land directly

results in not only a loss of habitat but also increases additional threats to carnivores. For example, associated shrimp farm guards are armed with weapons to protect facilities from shrimp theft, and they do not hesitate to shoot every animal that crosses their land, including jaguars.

Our research documents the subsistence of a well-established breeding subpopulation of jaguars and its prey in a highly modified landscape. This portion of Mexico is considered an important area for the conservation of the jaguar (Medellín et al., 2016). It is the last link in the connectivity of the jaguar subpopulations on the Pacific Slope between Jalisco to the south and Sinaloa and Sonora to the north. Although the subpopulation density estimates are high, they are losing their habitat rapidly. Jaguars are reaching a threshold of habitat loss that will soon result in a reduction of jaguar genetic connectivity, all due to the challenges posed by human activities. During the study, we documented the death of two of the adult jaguars monitored, a male (death by unknown causes), and a road-killed female. This loss of jaguars during a short-term study is like what has been documented by other jaguar researchers in Mexico.

It is necessary that the government agencies that carry out work in protected areas using public resources, such as the National Commission of Protected Natural Areas and the National Forestry Commission, follow up with meaningful management actions, like exclusion fencing or mangrove reforestation, and above all, to involve local communities from within with information and funded or voluntary participation.

Author contributions Study design and fieldwork: DG-B, VL; data analysis and writing the article: DG-B, VL, RV-F and ON.

Acknowledgements We thank M. Zamudio, I. Vallarta, A. Ponce and wife, R. Virgen and the crew of volunteers and students who provided invaluable field support. We are most grateful to R. Thompson who provided constructive suggestions to greatly improve the article and for the language review. This work was possible thanks to funds granted by the National Council of Science and Technology (CONACyT) for project 3369 “Ecology and Conservation of the jaguar (*Panthera onca*) and its potential prey

outside the Natural Protected Areas of Nayarit, Mexico". DG-B received a Graduate Student Scholarship (no. 732522) from CONACyT México. This manuscript is submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias of the graduate student programme at the Universidad Autónoma de Nayarit, México.

Conflicts of interest None.

Ethical standards This research did not involve human subjects, experimentation with animals and/or collection of specimens.

References

- 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, México*. MSc thesis. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ATHREYA, V., ODDEN M., LINNELL, J.D.C., KRISHNASWAMY, J. & KARANTH, U. (2013) Big cats in our backyards: persistence of large carnivores in a human dominated landscape in India. *PlosOne*, 8, 1-8.
- BALZTER, H. (2000) Markov Chain models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling*, 126, 139-154.
- BERLANGA, R.C.A., GARCÍA, C.R.R., LÓPEZ, B.J. & RUIZ, L.A. (2010) Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 72, 7-22.
- BORON, V., TZANOPOULOS, J., GALLO, J., BARRAGAN, J., JAIMES-RODRIGUEZ, L., SCHALLER, G. & PAYÁN, E. (2016) Jaguar densities across human-dominated landscapes in Colombia: The contribution of unprotected areas to long term conservation. *PLoS ONE*, 11.

- BRADSHAW, C.J.A., EHRLICH, P.R., BEATTIE, A., CEBALLOS, G., CRIST, E., DIAMOND, J. ET AL. (2021) Underestimating the Challenges of Avoiding a Ghastly Future. *Frontiers in Conservation Science*, 1, 1-10.
- BRODIE, J.F. (2009) Is research effort allocated efficiently for conservation? Felidae as a global case study. *Biodiversity and Conservation*, 18, 2927-2939.
- CARRERA-TREVIÑO, R., LIRA-TORRES, I., MARTÍNEZ-GARCÍA, L. & LÓPEZ-HERNÁNDEZ, M. (2016) El jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) en la Reserva de la Biosfera “El Cielo”, Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical*, 64, 1451-1468.
- CASO, A., LOPEZ-GONZALEZ, C., PAYAN, E., EIZIRIK, E., DE OLIVEIRA, T., LEITE-PITMAN, R. & VALDERRAMA, C. (2008) *Panthera onca*. In *IUCN Red List of Threatened Species*. [Http://www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)
- CEBALLOS, G., CHÁVEZ, C. & ZARZA, H. (2012) *Censo nacional del jaguar y sus presas (1ª etapa)*. CONANP, IE-UNAM, Alianza WWF-Telcel, TELMEX y CONABIO, México.
- CEBALLOS, G., ZARZA, H., CERECEDO-PALACIOS, G., LAZCANO, B.M.M., HUERTA, M., DE LA TORRE, A. ET AL. (2018) *Corredores biológicos y áreas prioritarias para la conservación del jaguar en México*. Alianza Nacional para la Conservación del Jaguar, México.
- CERVELLI, E., PINDOZZI, S., SACCHI, M., CAPOLUPO, A., CIALDEA, D., RIGILLO, M. ET AL. (2017) Supporting land use change assessment through Ecosystem Services and Wildlife Indexes. *Land Use Policy*, 65, 249-265.
- CHÁVEZ, C., CEBALLOS, G., MEDELLÍN, R.A. & ZARZA, H. (2007) Primer censo nacional del jaguar. In *Conservación y manejo del jaguar en México estudios de caso y perspectivas* (eds G. Ceballos, C. Chávez, R. List & H. Zarza), pp. 133–142. CONABIO-Alianza WWF Telcel-Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.

- CHÁVEZ, C. & ZARZA, H. (2009) Distribución potencial del hábitat del jaguar y áreas de conflicto humano-jaguar en la península de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 13, 46-62.
- CHÁVEZ, C. (2010) *Ecología y Conservación del Jaguar (Panthera onca) y el Puma (Puma concolor) en la Región de Calakmul y sus Implicaciones para la Conservación de la Península de Yucatán*. PhD thesis, Universidad de Granada, España.
- CHÁVEZ, C., DE LA TORRE, A., BÁRCENAS, H., MEDELLÍN, R. A., ZARZA, H. & CEBALLOS, G. (2013) *Manual de fototrampeo para estudio de fauna silvestre. El jaguar en México como estudio de caso*. Alianza WWF-Telcel, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2011) *Monitoreo de Jaguar (Panthera onca) en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. SEMARNAT. México
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2016) *Fichas de evaluación ecológica de áreas naturales protegidas del noroeste de México*. México.
- CORONEL-ARELLANO, H., LARA-DÍAZ, N.E. & LÓPEZ-GONZÁLEZ, C.A. (2017) Abundancia y densidad de jaguar (*Panthera onca*) en el APFF meseta de Cacaxtla, Sinaloa, México. *Acta zoológica mexicana (N.S.)*, 33.
- CRUTZEN, P.J. (2006) The “anthropocene”. In *Earth system science in the anthropocene* (eds E. Ehlers & T. Krafft), pp. 13-18. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
- DE LA TORRE, J.A. & MEDELLÍN, R.A. (2011) Jaguars *Panthera onca* in the Greater Lacandona Ecosystem, Chiapas, Mexico: population estimates and future prospects. *Oryx*, 45, 546-553.

- DE LA TORRE, A., GONZÁLEZ-MAYA, J.F., ZARZA, H., CEBALLOS, G., MEDELLÍN, R. (2017) The jaguar's spots are darker than they appear: assessing the global conservation status of the jaguar *Panthera onca*. *Oryx*, 52, 300-315.
- DI BITETTI, M.S., PAVIOLO, A. & DE ANGELO, C. (2014) Camera trap photographic rates on roads vs. off roads: location does matter. *Mastozoología neotropical*, 21, 37-46.
- DIRZO, R., YOUNG, H.S., GALETTI, M., CEBALLOS, G., ISSAC, N.J.B. & COLLEN, B. (2014) Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345, 401-406.
- DUEÑAS-LÓPEZ, G. (2013) *Identificación de Corredores Biológicos Potenciales para el Jaguar (Panthera onca) en la Sierra Abra Tanchipa, San Luís Potosí y sus Límites Estatales*. Montecillos, México. MSc thesis, El Colegio de Postgraduados, México.
- FIGEL, J.J., BOTERO-CAÑOLA, S., FORERO-MEDINA, G., SÁNCHEZ-LONDOÑO, J.D., VALENZUELA, L. & NOSS, R.F. (2019) Wetlands are keystone habitats for jaguars in an intercontinental biodiversity hotspot. *PLOS ONE*, 14, 1-16.
- FOLEY, J., DEFRIES, R., ASNER, G., BARFORD, C., BONAN, G., CARPENTER, S. ET AL. (2005) Global consequences of land use. *Science*, 309, 570–574.
- GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ, C.E., GÓMEZ-RAMÍREZ, M.Á. & LÓPEZ-GONZÁLEZ, C.A. (2012) Estimation of the density of the Near Threatened jaguar *Panthera onca* in Sonora, Mexico, using camera trapping and an open population model. *Oryx*, 46, 431-437.
- GUZMÁN-BÁEZ, D.J. & LUJA V.H. (2019) Primer registro municipal de zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Mastozoología, nueva época*, 9, 51-55.
- HAYWARD, M.W., KAMLER, J.F., MONTGOMERY, R.A., NEWLOVE, A., ROSTRO-GARCÍA, S., SALES, L.P. & VAN VALKENBURGH, B. (2016) Prey preferences of the jaguar

- Panthera onca* reflect the post-Pleistocene demise of large prey. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, 1-19.
- HERNÁNDEZ-SAINTMARTÍN, A.D., ROSAS-ROSAS, O.C., PALACIO-NÚÑEZ, J., TARANGO-ARAMBULA, L.A., CLEMENTE-SÁNCHEZ, F. & HOOGESTEIJN, A.L. (2015) Food Habits of Jaguar and Puma in a Protected Area and Adjacent Fragmented Landscape of Northeastern Mexico. *Natural Areas Journal*, 35, 308–317.
- HOOKE, R.B., MARTÍN-DUQUE, J. & PEDRAZA, J. (2012) Land transformation by humans: A review. *GSA Today*, 22, 4-10.
- HOLLAND, K., LARSON, L.R. & POWELL, R.B. (2018) Characterizing conflict between humans and big cats *Panthera spp*: A systematic review of research trends and management opportunities. *PLOS ONE*, 13, 1-19.
- JACOBSON, A., RIGGIO, J., TAIT, A. & BAILLIE, J. (2019) Global areas of low human impact ('Low Impact Areas') and fragmentation of the natural world. *Scientific Reports*, 9, 1-13.
- JENKS, K.E., CHANTEAP, P., KANDA, D., PETER, C., CUTTER, P., REDFORD, T., ET AL. (2011) Using Relative Abundance Indices from Camera-Trapping to Test Wildlife Conservation Hypotheses – An Example from Khao Yai National Park, Thailand. *Tropical Conservation Science*, 4, 113–131.
- JĘDRZEJEWSKI, W., CARREÑO, R., SÁNCHEZ-MERCADO, A., SCHMIDT K., ABARCA, M., ROBINSOND, H. ET AL. (2017) Human-jaguar conflicts and the relative importance of retaliatory killing and hunting for jaguar (*Panthera onca*) populations in Venezuela. *Biological Conservation*, 209, 524–532.
- KARANTH, K.U. & NICHOLS, J.D. (1998) Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology*, 79, 2852-2862.
- KLEIN, K., BEUSEN, A., VAN DRECHT, G. & DE VOS, M. (2011) The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12,000 years. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 73-86.

- LOYOLA, R.D., DE OLIVEIRA, G., DINIZ-FILHO, J.A.F. & LEWINSOHN, T.M. (2008) Conservation of Neotropical carnivores under different prioritization scenarios: mapping species traits to minimize conservation conflicts. *Diversity and Distributions*, 14, 949-960.
- LUJA, V.H., NAVARRO, C.J., TORRES COVARRUBIAS, L.A., CORTÉS HERNÁNDEZ, M. & VALLARTA CHAN, I.L. (2017) Small Protected Areas as Stepping-Stones for Jaguars in Western Mexico. *Tropical Conservation Science*, 10, 1-8.
- LUJA, V.H. & ZAMUDIO, M.G. (2018) *Trachemys ornata* (Ornate Slider) Predation. *Herpetological Review*, 49, 530–531.
- LUJA, V.H., VALLARTA, I.L. & CORTÉS, M. (2020) Predation events of the jaguar (*Panthera onca*) recorded with camera traps in mangroves of Nayarit, western Mexico. *The wild felid monitor*, 13, 15-17.
- MAFFEI, L., CULLAR, E. & NOSS, A. (2004) One thousand jaguars (*Panthera onca*) in Bolivias chaco? Camera trapping in the Kaa-iyá national park. *Journal of Zoology*, 262, 295-304.
- MANDUJANO, S. & PÉREZ-SOLANO L. A. (2019) *Fototrampeo en R: organización y análisis de datos. Volumen 1*. Instituto de Ecología A. C., Xalapa, Veracruz, México.
- MEDELLÍN, R.A., DE LA TORRE, J.A., ZARZA, H., CHÁVEZ, C. & CEBALLOS, G. (2016) *El Jaguar en el siglo XXI. La perspectiva continental*. Fondo de Cultura Económica, Instituto de Ecología, UNAM, México.
- NAGENDRA, H., REYERS, B. & LAVOREL, S. (2013) Impacts of land change on biodiversity: making the link to ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 503-508.
- NEWBOLD, T. (2018) Future effects of climate and land-use change on terrestrial vertebrate community diversity under different scenarios. *Proceedings of the Royal Society*, 285, 1-9.

- NÚÑEZ, R., MILLER, B. & LINDZEY, F. (2002) Ecología del jaguar en la Reserva de la Biosfera de Chamela-Cuixmala, Jalisco, México. In *El Jaguar en el Nuevo Milenio* (eds R.A. Medellín, C. Equihua, C.L.B. Chetkiewicz, P.G. Crawshaw, Jr, A. Rabinowitz, K.H. Redford et al.), pp. 107–126. Fondo de Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México. Wildlife Conservation Society, México D.F., México.
- O'CONNELL, A.F. & BAILEY, L. (2011) Inference for occupancy and occupancy dynamics. In *Camera traps in animal ecology* (eds A.F. O'Connell, J.D. Nichols, K. Ullas), pp. 191-204. Springer, Japan.
- PATTERSON, B.D., KASIKI, S.M., SELEMPO, E. & KAYS, R.W. (2004) Livestock depredation by lions (*Panthera leo*) and other carnivores on ranches neighboring Tsavo National Parks, Kenya. *Biological Conservation*, 119, 507-516.
- PERERA-ROMERO, L., GARCIA-ANLEU, R., McNAB, R.B. & THORNTON, D.H. (2020) When waterholes get busy, rare interactions thrive: Photographic evidence of a jaguar (*Panthera onca*) killing an ocelot (*Leopardus pardalis*). *Biotropica*, 00, 1-5.
- POLISAR, J., DE THOISY, B., RUMIZ, D.I., SANTOS, F.D., McNAB, R.B., GARCIA-ANLEU, R. ET AL. (2016) Using certified timber extraction to benefit jaguar and ecosystem conservation. *Ambio*, 46, 588-603.
- QGIS. (2020) QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- RABINOWITZ, A. (2014) *An indomitable beast: The remarkable journey of the jaguar*. Island Press. Washington, DC, USA.
- RABINOWITZ, A. & ZELLER, K. (2010) A range wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological Conservation*, 143, 939-945.
- RAMÍREZ-SILVA, J.P., DE LA ROSA, D., HERNÁNDEZ-CADENA, F.J., WOOLRICH-PIÑA, G. (2016) Mamíferos de Nayarit, México. In *Riqueza y Conservación de los*

- mamíferos en México a Nivel Estatal* (eds M. Briones-Salas, Y. Hortelano-Moncada, G. Magaña-Cota, G. Sánchez-Rojas y J.E. Sosa-Escalante), pp. 270-288. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología A.C. y Universidad de Guanajuato, Distrito Federal, México.
- REXSTAD, E. & BURNHAM K.P. (1992) *User's Guide for Interactive Program CAPTURE*. Colorado Cooperative Fish & Wildlife Research Unit, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- RIPPLE, W.J., ESTES, J.A., BESCHTA, R.L., WILMERS, C.C., RITCHIE, E.G. & HEBBLEWHITE, M. ET AL. (2014) Status and Ecological Effects of the World's Largest Carnivores. *Science*, 343.
- RUIZ, V., SAVÉ, R. & HERRERA, A. (2013) Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*, 22, 117-123.
- SANDERSON, J. & HARRIS, G. (2012) *Automatic data organization, storage, and analysis of camera trap pictures*. Small Wild Cat Conservation Foundation. USA.
- SANTOS, T. & TELLERÍA, J.L. (2006) Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15, 3-12.
- SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES) (2010) *Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificación por su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT-CONAFOR. (2015) *Inventario estatal forestal y de suelos-Nayarit 2014*. SEMARNAT. México.
- SEYMOUR, K.L. (1989) *Panthera onca*. *Mammalian species*, 340, 1-9.

- SILVER, S.C., OSTRO, L.E.T., MARSH, L.K., MAFFEI, L. NOSS, A.J., KELLY, M.J. ET AL. (2004) The use of camera traps for estimating jaguar *Panthera onca* abundance and density using capture/recapture analysis. *Oryx*, 38, 148-154.
- SWANK, W.G. & TEER, J. (1989) Status of the jaguar–1987. *Oryx*, 23, 14-21.
- THORNTON, C., SHANAHAN, M. & WILLIAMS, J. (2003). From wetlands to wastelands: impacts of shrimp farming. *Wetland Science and Practice*, 20, 48-53.
- VERDADE, L., PALOMARES, F., DO COUTO, H. & POLIZEL, J. (2016) Recent land-use change and the expansion of an exotic potential prey: a possible redemption for Atlantic forest jaguars? *Animal conservation*, 19, 209-211.
- ZANIN, M., PALOMARES, F. & BRITO, D. (2015a) The jaguar's patches: Viability of jaguar populations in fragmented landscapes. *Journal for Nature Conservation*, 23, 90-97.
- ZANIN, M., PALOMARES, F. & BRITO, D. (2015b) What we (don't) know about the effects of habitat loss and fragmentation on felids. *Oryx*, 49, 96–106.

CAPÍTULO 3

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL

En Nayarit convergen cuatro importantes provincias fisiográficas: la Sierra Madre Occidental, el eje Neovolcánico Transversal, la Sierra Madre del Sur y la Llanura Costera, en donde se desarrolla una interesante riqueza de especies, sin embargo, se ha escrito muy poco de su diversidad biológica (Ramírez-Silva *et al.* 2016).

Este es el primer estudio en donde se estima la abundancia de presas y densidad de jaguar en un corredor biológico entre dos áreas naturales protegidas (ANP), al norte, la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales (RBMNN) y al sur la Reserva Ecológica de San Juan, que está enfrentando el avance de la frontera agrícola, ganadera y de granjas camaroneras.

Berlanga y colaboradores (2010), mencionan que durante las últimas décadas, la acuicultura se ha desarrollado intensamente en la región, aumentando el área de estanques para cultivo, primordialmente de camarón, provocando la disminución de áreas de humedales como las marismas. En este estudio, la clase de cobertura que denominamos como infraestructura, la cual abarca tanto asentamientos humanos como granjas acuícolas, hace 20 años abarcaba un área de 58.8 ha (1%) pero para el 2019 abarcó una zona de 262.6 (5%) del total del área de estudio, siendo una de las coberturas que más está afectando el hábitat del jaguar y sus presas, después de las tierras agrícolas abarcando en el 2019 la mitad de la zona de estudio con una extensión de 2881 ha (50%).

En este corredor biológico ubicado en la región Pacífico Centro, que según Ceballos y colaboradores (2018) se caracteriza por sus “todavía extensas selvas secas, selvas medianas y algunos manglares en la planicie costera”, la clase de vegetación secundaria, que incluye relictos de selva, en el 2019 abarcó una extensión de 266.8 ha (5%) en comparación con 1999 que abarcaba una extensión de 376.7 ha (6%). Esta pérdida ha hecho que existan áreas fragmentadas de selva baja caducifolia, en porciones que están próximas a la costa (Berlanga *et al.* 2010). Además, en 1999

el manglar abarcaba 2065.3 ha lo que correspondía al 35% del área, pero en el 2019 el manglar solo abarco 1510 ha, es decir 26% del área. Esta disminución del 9% de manglar con respecto a 1999, se debe a que 344 ha del área donde antes había manglar actualmente fue sustituido por granjas camaroneras y tierras agrícolas y principalmente. Ruiz-Luna y colaboradores (2010) reportaron que desde la década de 1970 hasta 2005 hubo una pérdida de manglar de alrededor del 13%, es decir, menos del 1% anual, estos autores mencionan que el resto del manglar de Nayarit se distribuye principalmente en el municipio de San Blas (12%). La zona de estudio abarca parte de ese municipio y de Santiago Ixcuintla, y se obtuvo una tasa de pérdida anual de la “vegetación natural” (manglar) del 0.43%, que fue similar a lo obtenido en la Sierra de San Juan, Nayarit entre 1970-1986 donde la tasa de deforestación anual fue de 0.44%, pero mayor a la tasa de deforestación calculada en la parte central de Nayarit para el periodo 1995 a 2005 que fue de 0.1% anual (Nájera *et al.* 2010).

A pesar de la relativa protección que las ANP confieren a la fauna silvestre, se ha reconocido que son inadecuadas para la conservación a largo plazo de los jaguares (Boron *et al.* 2016), ya que la fragmentación alrededor de una Reserva puede, eventualmente, convertirla en una isla y disminuir la viabilidad genética entre poblaciones. Por lo que para lograr los objetivos de conservación de la fauna silvestre es importante realizar estudios de estos parámetros poblacionales (Silver *et al.* 2004), no solo en ANP, si no, también en corredores, ya que estos pueden proporcionar la conectividad, y por ende el intercambio genético de las especies (Rabinowitz y Zeller, 2010). A pesar de que se ha reportado que la Llanura Costera de Nayarit presenta una diversidad baja, principalmente de mastofauna (Ramírez-Silva *et al.* 2016), la riqueza de 25 especies obtenida en este estudio (13 mamíferos medianos y grandes, 11 aves y 1 reptil), está dentro del promedio registrado en otras zonas tropicales con vegetación similar, como en el Parque Nacional lagunas de Chacahua en la costa de Oaxaca (Buenrostro-Silva *et al.* 2015), en la RBMNN (CONANP, 2011b). También es muy similar a lo reportado en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, en la zona costera de Campeche (CONANP, 2011a), pero es menor a lo que Hernández y colaboradores (2018) reportaron en la Reserva de la Biosfera La

Encrucijada (REBIEN), Chiapas, y a lo obtenido en tres ANP, localizadas en la costa noroeste de la Península de Yucatán (Hernández-Pérez *et al.* 2015).

Cabe destacar que se obtuvo el primer registro de zorra gris en el municipio de Santiago Ixcuintla y el segundo en la llanura costera del Pacífico de Nayarit en los últimos 10 años. El coyote y la zorra gris son las únicas especies de la familia Canidae reportadas en Nayarit (Arroyo-Cabrales *et al.* 2015; Ramírez-Silva *et al.* 2016). A pesar de ser especies comunes y generalistas, existe poca información sobre su distribución en el estado (Guzmán-Báez y Luja, 2019).

La abundancia relativa resulta ser un buen índice o tasa de captura cuando se compara a una misma especie bajo las mismas condiciones ambientales (Mandujano *et al.* 2019), y también se puede utilizar como una medida de disponibilidad de especies presa para el jaguar (Aranda, 1994). En este estudio se obtuvo que las presas con mayor disponibilidad para el jaguar fueron el conejo ($n=277$, $IAR=52.7$), el venado cola blanca ($n=105$, $IAR=20$), y el coatí ($n=49$, $IAR=9.33$), especies comúnmente reportadas como presa del jaguar (Hayward *et al.* 2016). En tres ANP, localizadas en la costa noroeste de la Península de Yucatán, el coatí también fue una de las especies con mayor índice de captura ($n=261$, $IAR=222.5$; Hernández-Pérez *et al.* 2015). También en el norte de la RBMNN, reportaron que las presas más abundantes fueron el mapache ($IAR=1.86$), coatí (0.96) y venado cola blanca (1.19), y las menos abundantes, el pecarí, armadillo y conejo (CONANP, 2011b).

En este estudio, los mamíferos considerados como presas del jaguar con menos tasa de captura también fueron los armadillos y el pecarí de collar, pero a diferencia de lo que se obtuvo en la RBMNN, el conejo tuvo una tasa de captura muy alta, ésta puede estar influida por el cambio de uso de suelo de vegetación primaria a campos de cultivo y pastizales, ya que, como se ha visto en otros estudios, el crecimiento poblacional de esta especie se ve favorecido con la introducción de estos tipos de cobertura (Bock *et al.* 2006). La alta tasa de captura del conejo, venado cola blanca y coatí es de importancia en la dinámica de los ecosistemas, ya que además de ser

dispersores de semillas, también forman parte de la cadena alimenticia al ser presas de los depredadores tope como el jaguar. Si hubiera una disminución en las presas del jaguar, esto afectaría su sobrevivencia, ya que la viabilidad de sus poblaciones depende directamente de su alimento (Sunquist y Sunquist, 1989); además, su sistema territorial se encuentra determinado exclusivamente por la abundancia de sus presas (Chávez, 2006; Azevedo y Murray, 2007).

Se ha mencionado que la falta de presas silvestres es de las principales causas para que el jaguar depreda ganado y otros animales domésticos (Rabinowitz y Nottingham, 1986; Amit *et al.* 2009; Chávez y Zarza, 2009; Ripple *et al.* 2014; Lavariega *et al.* 2017). A pesar de que se obtuvo que el ganado fue la segunda especie con mayor índice de captura (IAR=19.76) y una ocupación naive de 0.72 (72%), la depredación de ganado en esta zona no es frecuente, pero se confirmó la alta presencia del ser humano al obtener el mayor índice de captura (IAR=40.3) con una ocupación naive del 1.0 (100%), además de obtener registros de cazadores y robo de cámaras-trampa.

Por otro lado, a pesar de que se esperaba que la abundancia y densidad de la población del jaguar en este sitio fuera al menos 50% menor que en áreas menos impactadas. Se obtuvo que la densidad encontrada en el corredor Marismas-Sierra San Juan, fue mayor que en la Reserva de la Biosfera de Montes Azules, Chiapas (de la Torre y Medellín, 2011), el Área de Protección de Flora y Fauna Meseta de Cacaxtla, Sinaloa (Coronel-Arellano *et al.* 2017), la Reserva de Jaguar del Norte, Sonora (Gutiérrez-González *et al.* 2012) y la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales, Nayarit (CONANP, 2011b; CONANP, 2016). De aquí la importancia de proteger esta zona del corredor biológico Marismas-Sierra San Juan, ya que es un medio para preservar la conectividad de las poblaciones de jaguar entre el noroeste y suroeste de México, permitiendo la dispersión de individuos y un intercambio genético. En ausencia de corredores, la fragmentación del hábitat y la falta de inmigración de los individuos en dispersión pueden conducir a una depresión endogámica y una reducción de la capacidad de adaptación (Pettracca *et al.* 2014).

Aunque en la zona de estudio se obtuvo que la tasa de pérdida anual de vegetación natural fue de 0.44%, su diversidad está dentro del promedio registrado en otras zonas tropicales con vegetación similar (CONANP, 2011a; CONANP, 2011b; Buenrostro-Silva et al. 2015), y la densidad de la población de jaguares no fue 50% menor (como se esperaba al inicio del estudio), que lo estimado para algunas poblaciones de jaguares de grandes áreas y menos impactadas. En general el 20% de la fauna silvestre obtenida en este trabajo, se encuentra bajo alguna categoría de riesgo y a pesar de que se han implementado programas de conservación para el jaguar en ANP, falta intensificar los esfuerzos de monitoreo para la conservación de la diversidad de especies y su hábitat, fuera de las ANP (Ramírez-Silva et al. 2016). Resaltando así la necesidad de protección y planes de conservación de esta zona que si bien puede servir de paso para la fauna, también puede servir de hábitat de algunos depredadores y sus presas.

LITERATURA CITADA

- Amit, R., Alfaro, L., Carrillo, E. 2009. Relación entre la presencia del jaguar (*Panthera onca*) y de sus presas en el Área de Conservación Guanacastes, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales* 38: 6-10.
- Arroyo-Cabrales, J., L. León-Paniagua, C.A. Ríos-Muñoz, D.V. Espinosa-Martínez y L. Medrano-González. 2015. Mamíferos de Nayarit. *Revista Mexicana de Mastozoología* 1: 34-62.
- Azevedo, F. C., Murray, D. L. 2007. Spatial organization and food habits of jaguars (*Panthera onca*) in a floodplain forest. *Biological Conservation*.
- Berlanga, R. C. A., García, C. R. R., López, B. J., Ruiz, L. A. 2010. Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 72: 7-22.
- Boron, V., Tzanopoulos, J., Gallo, J., Barragan, J., Jaimes-Rodriguez, L., Schaller, G., et al. 2016. Jaguar Densities across Human-Dominated Landscapes in

- Colombia: The Contribution of Unprotected Areas to Long Term Conservation. *PLoS ONE* 11.
- Bock, C. E., Jones, Z. F., Bock J. H. 2006. Abundance of cottontails (*Sylvilagus*) in an exurbanizing Southwestern savanna. *Southwest Nat.* 51: 352-357.
- Buenrostro-Silva, A., Sigüenza-Pérez, D., García-Grajales, J. 2015. Mamíferos carnívoros del Parque Nacional Lagunas de Chacahua: Riqueza, abundancia y patrones de actividad. *Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época* 5: 39-54.
- Ceballos, G., Zarza, H., Cerecedo-Palacios, G., Lazcano, B. M. M., Huerta, M., de la Torre, A., Rubio, Y., Job, J. 2018. Corredores biológicos y áreas prioritarias para la conservación del jaguar en México. Alianza Nacional para la Conservación del Jaguar. México.
- Coronel-Arellano, H., Lara-Díaz, N. E., López-González, C. A. 2017. Abundancia y densidad de jaguar (*Panthera onca*) en el APFF Meseta de Cacaxtla, Sinaloa, México. *Acta Zoológica Mexicana* 33: 116-119.
- CONANP. 2011a. Monitoreo de jaguar (*Panthera onca*) en el Corredor Laguna de Términos-Calakmul, con énfasis en la Región Prioritaria para la Conservación Chenkan. México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. SEMARNAT.
- CONANP. 2011b. Monitoreo de Jaguar (*Panthera onca*) en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. SEMARNAT.
- CONANP. 2016. Fichas de evaluación ecológica de áreas naturales protegidas del noroeste de México. México. 240 pp.
- Chávez, C. 2006. Ecología poblacional y conservación del jaguar (*Panthera onca*) en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche. Tesis de Maestría, UNAM. México. 63 pp.
- Chávez, C., Zarza, H. 2009. Distribución potencial del hábitat del jaguar y áreas de conflicto humano-jaguar en la península de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología* 13: 46-62.

- de la Torre, J. A., Medellín, R. A. 2011. Jaguars *Panthera onca* in the Greater Lacandona Ecosystem, Chiapas, Mexico: population estimates and future prospects. *Oryx* 45: 546-533.
- Guzmán-Báez, D. J., Luja, V. H. 2019. Primer registro municipal de zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Mastozoología, nueva época* 9: 51-55.
- Gutiérrez-González, C. E., Gómez-Ramírez, M. Á., López-González, C. A. 2012. Estimation of the density of the Near Threatened jaguar *Panthera onca* in Sonora, Mexico, using camera trapping and an open population model. *Oryx* 46: 431-437.
- Hayward, M. W., Kamler, J. F., Montgomery, R. A., Newlove, A., Rostro-García, S., Sales, L. P., Van Valkenburgh, B. 2016. Prey preferences of the jaguar *Panthera onca* reflect the post-Pleistocene demise of large prey. *Frontiers in Ecology and Evolution* 3: 148.
- Hernández, H. J. C., Chávez, C., List, R. 2018. Diversidad y patrones de actividad de mamíferos medianos y grandes en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical* 66: 634-646.
- Hernández-Pérez, E., Reyna-Hurtado, R., Castillo, G. Sanvicente, M. y Moreira-Ramirez, J. F. 2015. *Theyra* 6: 559-574.
- Lavariega, M. C., Martín-Regalado, N., Monroy-Gamboa, A. G., Briones-Salas, M. 2017. Estado de conservación de los vertebrados terrestres de Oaxaca, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 4: 135-146.
- Mandujano, S., Pérez-Solano L. A. 2019. Fototrampeo en R: organización y análisis de datos. Volumen 1. Instituto de Ecología A. C., Xalapa, Veracruz, México.
- Nájera, O., Bojórquez, J., Cifuentes, J., Marceleño, S. 2010. Land cover/land use changes in the mololoa river basin, Nayarit. *Revista Biociencias* 1: 19-29.
- Petracca, L., Hernández-Potosme, S., Obando-Sampson, L., Salom-Pérez, R., Quigley, H., y Robinson, H. 2014. Agricultural encroachment and lack of enforcement threaten connectivity of range-wide jaguar (*Panthera onca*) corridor, *Journal for Nature Conservation*.

- Rabinowitz, A. R., Nottingham Jr., B. G. 1986. Ecology and behaviour of the jaguar (*Panthera onca*) in Belize, Central America. *Journal of zoology* 210: 149-159.
- Rabinowitz, A., Zeller, K. 2010. A range wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological Conservation* 143: 939-945.
- Ramírez-Silva, J. P., De la Rosa, D., Hernández-Cadena, F. J., Woolrich-Piña, G. 2016. Mamíferos de Nayarit, México. En Briones-Salas, M., Y. Hortelano-Moncada, G. Magaña-Cota, G. Sánchez-Rojas y J. E. Sosa-Escalante (Eds.). Riqueza y Conservación de los mamíferos en México a Nivel Estatal. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología A.C. y Universidad de Guanajuato, Distrito Federal, México. 270-288 pp.
- Ripple, W. J., Estes, J. A., Beschta, R. L., Wilmers, C. C., Ritchie, E. G., Hebblewhite, M. 2014. Status and Ecological Effects of the World's Largest Carnivores. *Science* 343.
- Ruiz-Luna, Aimeé, y Berlanga-Robles, C. 2010. Assessing distribution patterns, extent, and current condition of Northwest Mexico mangroves. *Wetlands* 30: 717-723.
- Silver, S. C. Ostro, L. E. T., Marsh, L. K., Maffei, L. Noss, A. J., Kelly, M. J., Wallace, R. B., Gómez, H., Ayala, G. 2004. The use of camera traps for estimating jaguar *Panthera onca* abundance and density using capture/recapture analysis. *Oryx* 38: 148-154.
- Sunquist, M. E., Sunquist F. 1989. Ecological constraints on predation by large felids. En: Gittleman, J. L. *Carnivore Behavior, Ecology and Evolution*. University Press. 283-301 pp.