



El Colegio de la Frontera Sur

Evaluación de la conectividad del paisaje Puuc–Chenes,
México, con base en los requerimientos del jaguar
(*Panthera onca*)

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

por

Eduardo Antonio Salazar Sosa

2013



EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR

San Francisco de Campeche, Campeche, 26 de Junio de 2013.

Los abajo firmantes, miembros del jurado examinador del alumno:

EDUARDO ANTONIO SALAZAR SOSA

Hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada:

“Evaluación de la conectividad del paisaje Puuc–Chenes, México, con base en los requerimientos del jaguar (*Panthera onca*)”

para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural.

	Nombre	Firma
Tutor:	Dr. Jorge Mendoza Vega	_____
Asesor:	Dra. Susana Ochoa Gaona	_____
Asesor:	M. en C. Víctor Manuel Ku Quej	_____
Asesor:	Dr. Mircea Gabriel Hidalgo Mihart	_____
Sinodal adicional:	Dr. Miguel Ángel Martínez Morales	_____
Sinodal adicional:	Dr. Juan Manuel Weber Rodríguez	_____
Sinodal suplente:	Dr. Yuri Jorge Jesús Peña Ramírez	_____

Dedicatoria:

Dedico esta tesis a Dios por regalarme la oportunidad de realizar este sueño, por ser mi guía en este viaje y por brindarme su amor incondicional; sin el cual, no habría llevado a buen término esta aventura. A mis padres, hermanos, hermana, mi tía y mis sobrinos por su apoyo que me motivó a seguir adelante. A mi pareja por su comprensión, cariño y apoyo a lo largo de este período de crecimiento en mi vida. A Canelito porque su llegada llenó de alegría mis días.

A mis grandes amigos de El Colegio de la Frontera Sur: Andrea, Monserrat, Carlos, Luvia, Almendra, Pepe, Alba y con cariño a la Dra. Arisbe Mendoza, mil gracias por permitirme formar parte de sus vidas, los llevaré siempre en el corazón.

Agradecimientos

Le extiendo un profundo agradecimiento a mi comité tutelar: Dr. Jorge Mendoza Vega, Dra. Susana Ochoa Gaona, M. en C. Víctor Ku Quej y Dr. Mircea Hidalgo Mihart, gracias por todo su apoyo y dedicación a esta tesis.

Agradezco su apoyo y amistad a Carlos Alcérreca Aguirre, Presidente de Biocenosis A. C. y al Director de la Reserva Biocultural Kaxil Kiuic, James Callaghan; el conocerlos me impulsó a hacer realidad este sueño.

Juan Carlos Faller de Pronatura Península de Yucatán, el sobrevuelo que hicimos del paisaje Puuc-Chenes amplió mi visión del área de estudio, mil gracias.

Al Dr. José Luis Hernández Stefanoni del Centro de Investigación Científica de Yucatán, a Gerardo García Contreras de Pronatura Península de Yucatán A. C., a Luis Alfonso Pereira Lara de Biocenosis A. C. y al M. en C. Heliot Zarza por su valioso apoyo en la presente tesis.

Al CONACYT por la beca número 382708/255061 otorgada para cursar la maestría en Recursos Naturales y Desarrollo Rural en Ecosur. A El Colegio de la Frontera Sur por el apoyo en infraestructura y recursos económicos.

Índice

Abreviaturas.....	6
Introducción General.....	7
Justificación.....	10
Objetivos.....	12
Hipótesis.....	13
Artículo. Evaluación de la conectividad del paisaje Puuc-Chenes, México, con base en los requerimientos del jaguar (<i>Panthera onca</i>).....	14
Resumen.....	14
Introducción.....	16
Materiales y Métodos.....	18
Resultados.....	27
Discusión.....	36
Conclusiones.....	42
Agradecimientos.....	43
Literatura citada.....	43
Anexos.....	50
Conclusiones Generales.....	55
Aspectos Éticos en la investigación.....	57
Literatura General.....	58

Abreviaturas:

ANP: Área Natural Protegida.

APB: Área de protección de flora y fauna de Bala'an K'aax.

AREA_AM: Tamaño promedio ponderado de los parches.

CBM: Corredor Biológico Mesoamericano.

CONABIO: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad.

CONANP: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

CONTAG: Índice de contagio.

CWED: Contraste ponderado de la densidad de borde.

ED: Densidad de borde.

ENN_AM: Área ponderada media de la distancia euclidiana al vecino más cercano.

ENN_SD: Desviación estándar de la distancia euclidiana.

%LAND: Porcentaje del paisaje.

NP: Número de parches.

PD: Densidad de parches.

PROX_AM: Área ponderada media del Índice de distribución de proximidad.

PROX_SD: Desviación estándar de la distribución de proximidad.

RBC: Reserva de la Biósfera de Calakmul.

RBP: Reserva Biocultural del Puuc.

TA: Área total del paisaje.

TECI: Índice de contraste total de los bordes.

Introducción General

La región Maya en México, Belice y Guatemala constituye el mayor remanente de vegetación natural de Mesoamérica la cual contiene una amplia gama de ecosistemas y especies (The Nature Conservancy, 2006); con la finalidad de conservar éstos ecosistemas en México, se han establecido corredores biológicos en el sur-sureste del país como parte del proyecto del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM; CONABIO, 2009). En la Península de Yucatán, el CBM abarca los municipios de Calakmul y Hopelchén en Campeche; los municipios de Felipe Carrillo Puerto, Isla Mujeres y José María Morelos en Quintana Roo y los municipios de la costa de Yucatán (CONABIO, 2009). Ante la necesidad de evaluar y estudiar estos corredores; entre otros aspectos del paisaje; surgió la disciplina conocida como Ecología del paisaje.

La ecología del paisaje es la disciplina que estudia la interacción entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos; es decir, las causas y consecuencias de la heterogeneidad espacial a través de un rango de escalas (Turner *et al.*, 2001). Como paisaje, hacemos referencia a una superficie espacialmente delimitada y heterogénea conformada por unidades más homogéneas que se repiten e interactúan entre sí y con la matriz que los contiene; siendo la matriz el ecosistema de mayor extensión, el que ejerce mayor influencia sobre los otros componentes del paisaje o aquel que presenta mayor conectividad en el paisaje (Vila *et al.*, 2006).

El concepto de conectividad es una medida de la continuidad del paisaje y se trata de un término tanto estructural como funcional (Forman 1995). Lo estructural implica las relaciones espaciales entre los elementos del paisaje, se presenta cuando dos o más clases de cobertura de suelo del mismo tipo se mantienen conectados por una franja similar, y su ausencia significa fragmentación del paisaje

(Rabinowitz y Zeller, 2010). La conectividad funcional requiere que además de la estructura del paisaje se analice la respuesta de determinado organismo al desplazarse en este territorio (Pither y Taylor, 1998).

Por otra parte, el término fragmentación se define como la ruptura en la continuidad de una clase de vegetación o ecosistema en remanentes de menor tamaño (también conocidos como parches) que impacta la estructura y diversidad del paisaje (Forman, 1995). Entre los procesos que propician la fragmentación de un paisaje, podemos encontrar los siguientes: actividad ganadera, actividad agrícola, urbanización e infraestructura carretera, entre otros (Lord y Norton, 1990).

Los parches resultantes en un paisaje fragmentado deben ser capaces de mantener la integridad de tres condiciones biológicas primarias para que se lleven a cabo procesos ecológicos sanos: 1.- La preservación de ecosistemas extensos y funcionales; 2.- el mantenimiento de su configuración estructural y 3.- una fuerte resiliencia, la cual se define como la capacidad que le permite a un sistema ecológico regenerarse rápidamente después de sufrir un proceso de disturbio (Tischendorf, 2000).

De manera general, las superficies fragmentadas presentan cinco características críticas que influyen directamente en la conservación de sus procesos ecológicos: 1.- conectividad de los parches; 2.- Heterogeneidad-dinámica interna; 3.- forma del parche; 4.- tamaño del parche y 5.- calidad del parche (Forman, 1995).

Es importante hacer referencia al concepto “umbral de distancia” el cual es la longitud máxima esperada que un organismo pueda viajar a través de la matriz de un paisaje con determinado nivel de permeabilidad (Ferrari *et al.*, 2007). Este concepto presenta una estrecha relación entre la especie en movimiento y el grado

de resistencia de la matriz a su paso, referido por el Índice del paisaje: Contraste ponderado de la densidad de borde (CWED). Por otra parte, la resistencia del paisaje o permeabilidad del paisaje hace referencia al grado de fricción que éste presenta al desplazamiento de determinada especie: a mayor fricción, mayor resistencia y; en consecuencia, menor capacidad de desplazamiento (

Ferrari *et al.*, 2007). Este atributo del paisaje varía considerablemente entre las especies pudiendo encontrarse organismos generalistas, es decir, que presentan una gran capacidad de desplazamiento entre superficies heterogéneas y para los cuales la resistencia de la matriz es baja (Pérez, 2008). El jaguar (*Panthera onca*) es un depredador tope catalogado como generalista y cuya amplia capacidad de desplazamiento a través del paisaje conformado por la selva maya lo hace un organismo clave para estudiar la conectividad funcional. Es relevante analizar el desplazamiento para ambos sexos ya que sus patrones de movilidad y ámbitos hogareños son diferentes; las hembras generalmente se comportan como especie de interior de bosque, mientras que los machos presentan una mayor plasticidad (comportamiento de especie de borde y de interior; Conde *et al.*, 2010). Es importante destacar que la selva maya es una de las regiones identificadas como prioritarias para la conservación de *P. onca* (Rabinowitz y Zeller, 2010). De acuerdo a estudios previos llevados a cabo en el sur de la Península de Yucatán (Ceballos *et al.*, 2001), se ha determinado que el ámbito hogareño mínimo para el jaguar macho es de 60 Km², presentándose solapamiento de estos territorios en un 50% para los machos y del 20% para las hembras, con una movilidad anual de hasta 1,000 m², siendo la densidad estimada para *P. onca* de un individuo por cada 15 a 30 Km².

La fragmentación del hábitat incrementa el riesgo de extinción de *P. onca* como consecuencia de: la pérdida de hábitat, el incremento del efecto de borde (que

afecta en especial a las hembras de esta especie, Lasch y Serrano, 2005), la mortalidad por cacería directa, el atropellamiento, la adquisición de enfermedades e invasión de especies exóticas, reduciendo de esta manera la viabilidad de la población y aumentando sus necesidades de desplazamiento. (Lasch y Serrano, 2005; Chávez y Zarza, 2009). En el caso de las carreteras, se ha determinado que el efecto de borde que ejercen sobre la población de *P. onca* es de alrededor de 3 a 5 Km, espacio que evitan estos felinos (principalmente las hembras, Conde *et al.*, 2010). Un estudio realizado en la selva maya arrojó que los posibles sitios de cruce a través de la carretera federal Escárcega–Chetumal no son los mismos para los machos que para las hembras, en virtud de que los machos son más adaptables a los espacios modificados por el hombre (Colchero, 2010).

En el presente estudio se analicé la conectividad del paisaje Puuc-Chenes con base en los requerimientos de *P. onca*, ya que la escala espacial de movimiento de esta especie es adecuada para un estudio de conectividad a nivel paisaje; además, la plasticidad de *P. onca* para desplazarse a través de diversos ambientes naturales y modificados por el ser humano lo hacen el organismo idóneo para el análisis de la conectividad en un paisaje heterogéneo (Lasch y Serrano, 2005; Chávez y Zarza, 2009; Colchero *et al.*, 2011).

Justificación

El paisaje Puuc-Chenes presenta los fragmentos más representativos de selva subcaducifolia en la Península de Yucatán; sin embargo, a pesar de formar parte del Corredor Biológico Mesoamericano y de ser uno de los ecosistemas más amenazados, solamente el 0.2% de las selvas caducifolias y subcaducifolias de México se encuentran bajo algún esquema de protección (Portillo-Quintero, 2010). El

incremento de la frontera agrícola en el área Puuc y los asentamientos menonitas en el municipio de Hopelchén han ampliado progresivamente las áreas dedicadas al cultivo mecanizado y estudios recientes en esta zona han confirmado un aumento en la deforestación relacionada con la actividad agrícola extensiva (Portillo-Quintero, 2010; Porter *et al.*, 2008).

La Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO) en colaboración con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) llevó a cabo el estudio “Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies” identificando al paisaje Puuc–Chenes como área prioritaria para su conservación (Urquiza-Haas *et al.*, 2009). Asimismo, en 2006 PRONATURA A.C., *The Nature Conservancy* y ECOSUR entre otros actores ejecutaron el “Plan Eco regional de las selvas maya, zoque y olmeca” con el fin de identificar los principales remanentes de vegetación localizadas fuera de las áreas naturales protegidas (ANP) siendo el paisaje Puuc-Chenes uno de los sitios identificados al localizarse en la parte central del corredor biológico que enlazaría a la costa norte de la Península de Yucatán a partir de las ANP de Los Petenes y Celestún en el occidente de la Península de Yucatán con el Área de protección de flora y fauna de Bala’an K’aax (APB) en Quintana Roo y la Reserva de la Biósfera de Calakmul (RBC) en Campeche (Urquiza–Haas *et al.*, 2009). Por otra parte, también ha sido identificada la región Puuc-Chenes como área de importancia para la conservación de las aves (CONABIO, 2004) y del jaguar (*Panthera onca*; Rabinowitz y Zeller, 2010).

A pesar de su relevancia para la conservación en la Península de Yucatán, no se cuenta con un análisis de la fragmentación de las selvas del paisaje Puuc–

Chenes y se desconoce el grado de conectividad existente entre las ANP ubicadas en esta región.

Objetivo General

Determinar si el grado de fragmentación del paisaje en el Puuc yucateco y en Los Chenes, Campeche representa una barrera a la conectividad del jaguar (*Panthera onca*) entre las áreas naturales protegidas del Corredor Biológico Mesoamericano localizadas en la Península de Yucatán: Reserva de la Biósfera de Calakmul, Campeche; Área de protección de flora y fauna de Bala'an K'aax, Quintana Roo y la Reserva Biocultural del Puuc, Yucatán.

Objetivos Específicos

1. Adecuar un mapa a escala 1:50,000 de la cobertura de suelo en Los Chenes, Campeche y el Puuc, Yucatán.
2. Estudiar la conectividad estructural del paisaje Puuc–Chenes para *P. onca* a través del análisis de la fragmentación del paisaje y de las clases de vegetación.
3. Analizar la conectividad funcional del paisaje Puuc–Chenes aplicando el modelo de menor costo para el desplazamiento de *P. onca* macho y hembra a través de este paisaje.
4. Identificar las áreas prioritarias a conservar con la finalidad de mantener la conectividad para *P. onca* en este paisaje.

Hipótesis

La fragmentación del paisaje Puuc–Chenes representa una barrera para la conectividad del jaguar (*Panthera onca*) entre las áreas naturales protegidas del Corredor Biológico Mesoamericano de la Península de Yucatán.

Artículo enviado a la Revista Mexicana de Biodiversidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Salazar et al. Conectividad del paisaje Puuc–Chenes.

Evaluación de la conectividad del paisaje Puuc–Chenes, México, con base en los requerimientos del jaguar (*Panthera onca*)

Assessment of the connectivity of the Puuc–Chenes landscape in Mexico, based on the requirements of the jaguar (*Panthera onca*)

Eduardo Salazar¹, Jorge Mendoza¹, Susana Ochoa-Gaona^{2*}, Víctor Ku-Quej¹, Mircea Hidalgo-Mihart³

¹ **Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur.**
Avenida Rancho Polígono 2-A, Colonia Ciudad Industrial, Lerma, Campeche, México.
esalazar@ecosur.edu.mx, jmendoza@ecosur.mx, vmku@ecosur.mx

² **Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur.**
Avenida Rancho Polígono 2-A, Colonia Ciudad Industrial, Lerma, Campeche, México.
sochoa@ecosur.mx

³**División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.**
Avenida Universidad s/n, Zona de la Cultura, Colonia Magisterial, Villahermosa, Tabasco, México. mhidalgo@yahoo.com

* Autor de correspondencia.

Resumen. La expansión de la frontera agrícola en las regiones Puuc, Yucatán y Chenes, Campeche ha propiciado la fragmentación y pérdida del hábitat del jaguar. Su localización en el centro de la Península de Yucatán y rodeada por tres áreas naturales protegidas, hace de ésta zona un importante eslabón para mantener la conectividad de la selva maya. En el presente estudio se analizó el grado de conectividad del paisaje Puuc–Chenes con base en los requerimientos del jaguar (*Panthera onca*). Mediante el uso de los programas ArcMap,

FRAGSTATS e IDRISI se llevó a cabo el análisis de la conectividad estructural y funcional para *P. onca*, haciendo una distinción entre macho y hembra. La selva fue la cobertura dominante al ocupar el 49.77% del paisaje. El índice de contagio fue del 62.5% y el índice de contraste total de los bordes fue del 43.68%. De acuerdo a los valores referidos por los Índices señalados, se concluye que el paisaje Puuc-Chenes presenta una conectividad estructural superior a la media; se identificó un corredor exclusivo para *P. onca* macho y cuatro corredores para ambos sexos. Este estudio aporta elementos científicos que justifican la conservación de cuatro parches de selva del paisaje Puuc-Chenes.

Palabras clave: Campeche, corredor biológico, fragmentación, métricas del paisaje, Península de Yucatán, SIG.

Abstract. The expansion of the agricultural frontier in the Puuc region in Yucatan and the Chenes region in Campeche has led to the fragmentation and the loss of habitat. Its location in the center of the Yucatan Peninsula and right in the middle of three natural protected areas makes this zone a main link in order to maintain connectivity in the Mayan tropical forest. In the current study, we have analyzed the degree on connectivity of the Puuc-Chenes landscape based on the needs of the jaguar (*Panthera onca*). The analysis of structural and functional connectivity for *P. onca* was carried out using ArcMap, the FRAGSTATS and the IDRISI software taking the sex of *P. onca* into consideration. The predominant landscape class is the tropical forest since it occupies the 49.77% of the landscape. The Contagion Index is 62.5% and the Edge Contrast Index Total is 43.68%. According to the Indexes' results, we conclude that the Puuc-Chenes landscape presents a structural connectivity above the mean. We identified a single corridor for male *P. onca* and four corridors for both sexes. This study provides scientific evidence that, justifies the conservation of four jungle's patches at the Puuc-Chenes landscape.

Keywords: Campeche, biological corridor, fragmentation, GIS, landscape metrics, Yucatán Peninsula.

Introducción

La fragmentación se refiere a la ruptura en la continuidad de una clase de vegetación o ecosistema en remanentes de menor tamaño (parches) impactando directamente la estructura y diversidad del paisaje (Lord y Norton, 1990; McGarigal y Marks, 1994; Gilbert–Norton et al., 2009); a nivel global, los procesos que propician la fragmentación de un paisaje son la actividad ganadera, agrícola, urbanización e infraestructura carretera, entre los más generales (Lord y Norton, 1990).

Con la finalidad de amortiguar los efectos ecológicos de la fragmentación es imperativo conservar la conectividad del paisaje manteniendo las relaciones espaciales entre los elementos que lo conforman (Forman, 1995). La conectividad estructural se presenta cuando dos o más parches se mantienen conectados por una franja de clase similar y su ausencia significa fragmentación del paisaje (Rabinowitz y Zeller, 2010). La conectividad funcional requiere que además de la estructura del paisaje se analice la respuesta de uno o varios organismos focales al desplazarse en este territorio (Pither y Taylor, 1998).

En el sureste de México y Centroamérica la iniciativa del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) tiene el objetivo de conservar la diversidad biológica a través de la conectividad de sus áreas naturales protegidas (ANP), así como el fomento del desarrollo sostenible de las comunidades rurales. La Península de Yucatán forma parte de este proyecto y en su parte central encontramos tres ANP relevantes: Reserva de la Biósfera de Calakmul (RBC), Campeche; Área de protección de flora y fauna Bala'an K'aax (APB), Quintana Roo y la Reserva Biocultural del Puuc (RBP), Yucatán (Crooks, 2002; CONABIO, 2009). En esta región se ubica el paisaje Puuc–Chenes (ver Figura 1), el cual presenta importantes parches de vegetación que en el pasado formaron parte de un continuo entre las selvas caducifolias y

subcaducifolias del norte de la Península de Yucatán y las selvas subperennifolias y perennifolias del sur de la Península y Centroamérica (Gobierno del Estado de Campeche, 2007; Bioasesores A. C., 2011).

El jaguar (*Panthera onca*) es un depredador tope de la cadena alimenticia cuya amplia capacidad de desplazamiento a través del paisaje conformado por la selva maya lo hace un organismo clave para estudiar la conectividad (Colchero et al., 2011). Es relevante evaluar su desplazamiento para ambos sexos ya que sus patrones de movilidad y ámbitos hogareños son diferentes. Las hembras generalmente se comportan como especie de interior de bosque, mientras que los machos presentan mayor plasticidad (comportamiento de especie de borde y de interior; Conde et al., 2010); en consecuencia, la fragmentación del paisaje ejerce un mayor impacto en la conectividad del hábitat para *P. onca* hembra y en su capacidad de dispersión en comparación con el más adaptable *P. onca* macho. Estudios realizados en la RBC refieren que el ámbito hogareño mínimo para *P. onca* macho es de 60 a 65Km² cuyo territorio se sobrepone al de dos hembras en promedio, presentando una movilidad anual de hasta 1,000 Km², siendo la densidad estimada para *P. onca* de un individuo por cada 15 a 30 Km² (Ceballos et al., 2001; Zarza et al., 2007; Rodríguez–Soto et al., 2011).

Con respecto al estudio de la conectividad del paisaje, es relevante comprender que cada organismo responde de manera particular en un mismo paisaje, en virtud de que perciben el territorio a diferentes escalas y de acuerdo a requerimientos únicos de hábitat, alimentación y dispersión, entre otros (McGarigal y Marks, 1994). En el presente estudio se analiza la conectividad del paisaje Puuc–Chenes con base en los requerimientos de *P. onca*, ya que la escala espacial de movimiento de esta especie es adecuada para un estudio de conectividad a nivel paisaje; además, la plasticidad de *P. onca* para desplazarse a través de diversos ambientes naturales y modificados por el ser humano lo hacen el organismo idóneo

para el análisis de la conectividad en un paisaje heterogéneo (Lasch y Serrano, 2005; Chávez y Zarza, 2009; Colchero et al., 2011).

Materiales y métodos

Área de estudio. El límite norte del área de estudio lo determina la sierrita de Ticul en Yucatán, así como la carretera que corre paralela a la Sierrita; al este es limitado por la APB, Quintana Roo, al sur por la RBC, Campeche y al oeste por la carretera que parte de Bilincob hasta Dzibalchén en el municipio de Hopelchén, Campeche (Figura 1).

La región conocida como El Puuc comprende parte del suroeste de Yucatán y el noreste de Campeche. La Sierrita de Ticul representa el límite superior, la cual corre paralela a la carretera que atraviesa el poblado de Maxcanú, Yucatán hasta la comunidad de Tzucacab, Yucatán. Cabe destacar que a lo largo de esta vía se ubican localidades con un importante número de pobladores (Bioasesores A. C., 2011). Desde Maxcanú parte el límite sur y oeste formado por un escarpe geológico que finaliza en los alrededores de Bolonchén, Campeche (Bioasesores A. C., 2011). El término Puuc significa “lomerío” en maya yucateco y hace referencia a los cerros que se encuentran en ésta área y que pueden alcanzar los 300 m de altura (Bioasesores A. C., 2011). Al sur del Puuc se ubica el cono sur de Yucatán con tierras fértiles para la agricultura y también cuenta con importantes zonas arqueológicas que han popularizado el estilo arquitectónico maya Puuc característico de sus principales edificaciones (Barrera, 1987).

La región de Los Chenes, Campeche, colinda en su extremo norte con el Puuc yucateco y abarca parte de los municipios de Hopelchén y Calakmul en Campeche; el sur de Los Chenes forma parte del área de amortiguamiento de la RBC (Porter et al., 2008).

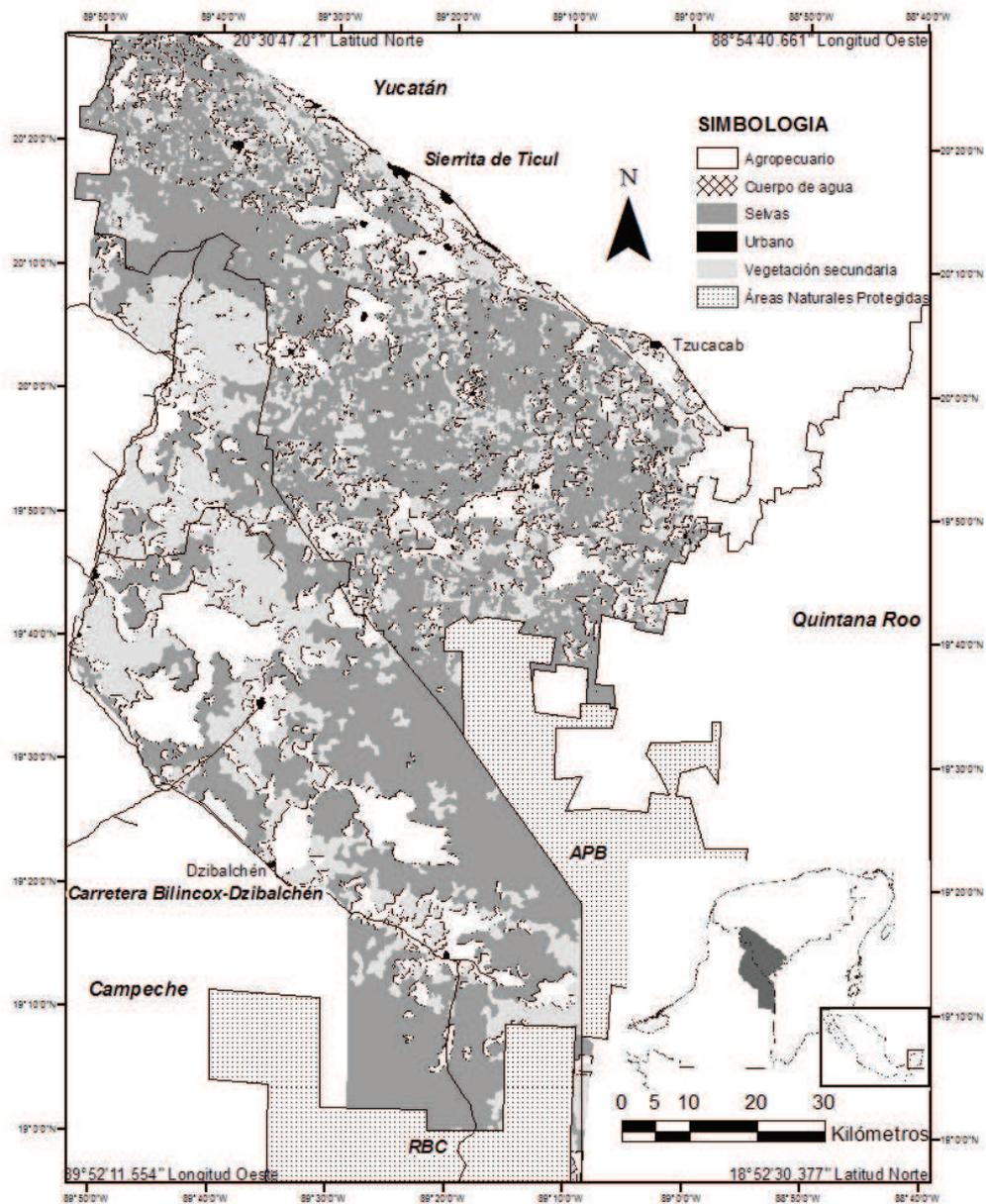


Figura 1. Localización del área de estudio: “Paisaje Puuc-Chenes”. El límite norte del área de estudio lo determina la sierrita de Ticul en Yucatán, así como la carretera que corre paralela a la Sierrita; al este es limitado por la Área de protección de flora y fauna de Bala’an K’aax (APB), Quintana Roo; al sur por la Reserva de la Biósfera de Calakmul (RBC), Campeche y al oeste por la carretera que parte de Bilincox hasta Dzibalchén en el municipio de Hopolchén, Campeche.

En el Puuc y las zonas norte–centro de Los Chenes la selva mediana subcaducifolia están inmersos en una matriz de vegetación secundaria, áreas de cultivo y pastizales; por otra parte en el sur de Los Chenes encontramos predominio de la selva mediana subperennifolia (Gobierno del Estado de Campeche, 2007). Cabe aclarar que la composición de especies en las selvas caducifolias y subcaducifolias es muy diferente entre regiones lo cual le otorga una elevada diversidad beta (Challenger y Caballero, 1998; Trejo, 2005), además de contar con un alto endemismo de plantas leñosas (Portillo–Quintero, 2010).

Clasificación y edición de las imágenes. Se integró un mapa de caracterización de la vegetación y uso de suelo de la zona de estudio a escala 1:50,000 con el software ArcMap (versión 9.3, ESRI Inc, New York Street, CA, USA) teniendo como base los siguientes mapas:

1) Región Puuc: escala 1:50,000, proveniente del Estudio Regional Forestal (Bioasesores A. C., 2011) que incluye los municipios de Akil, Dzan, Maní, Muna, Oxkutzcab, Sacalum, Santa Elena, Tekax, Ticul y Tzucacab, ubicados en el sur y suroeste del estado de Yucatán. Este mapa fue elaborado con imágenes satelitales variadas siendo las más recientes las LandSat 2005, la clasificación y verificación en campo fue llevada a cabo a partir de las clases propuestas por el INEGI (INEGI, 2009; Bioasesores A. C., 2011).

2) Los Chenes: escala 1:50,000 proveniente del Ordenamiento Ecológico y Territorial del municipio de Hopelchén de 2007 el cual fue elaborado con imágenes satelitales LandSat de 2003 a partir de las clases propuestas por la serie III del INEGI (Gobierno del Estado de Campeche, 2007; INEGI, 2009).

La validación en campo tuvo lugar en los meses de estiaje (mayo–junio) aplicándose en 11 salidas una evaluación cualitativa de los puntos elegidos de manera aleatoria a lo largo de los principales caminos y brechas del paisaje Puuc–Chenes. Se

registraron los siguientes datos: estructura forestal (altura, estratos presentes, diámetro a la altura del pecho), especies dominantes y fenología de la vegetación (Ochoa–Gaona et al., 2010). En total se registraron 75 sitios (30 de vegetación secundaria, 30 de agropecuario, 7 de selva mediana subcaducifolia, 4 de selva mediana subperennifolia, 3 de selva baja subcaducifolia y 1 de selva baja subperennifolia), los puntos muestreados pueden observarse en la Figura 2. Del total de sitios muestreados, 16 registraron cambios en la clasificación de su cobertura del suelo (21.33% del total) como sigue: 13 sitios referidos como selva correspondieron a la clase de agropecuario y 3 sitios referidos en el mapa como selva mediana subcaducifolia correspondieron a selva baja subcaducifolia. También se integraron al mapa las nuevas zonas agropecuarias y se corrigieron las tablas de atributos. Posteriormente se llevó a cabo la rasterización de los mapas con un tamaño de celda de 50 x 50 m y se llevó a cabo su limpieza topológica aplicando el comando “DISSOLVE” de ArcMap (versión 9.3).

Finalmente y de acuerdo a los requerimientos de *P. onca* (Zarza et al., 2007, Chávez y Zarza, 2009; Conde et al., 2010) se llevó a cabo una reclasificación de las coberturas del suelo donde la categoría correspondiente a “selva” abarcó los cuatro tipos identificados en los mapas (selva mediana subperennifolia, selva mediana subcaducifolia, selva baja subperennifolia y selva baja subcaducifolia). Se consideró como selva a la vegetación con más de 30 años de edad de acuerdo a la nomenclatura maya para las etapas sucesionales de la vegetación descrita para la Península de Yucatán por Flores y Ucán (1983) y Sánchez et al. (2007). Con respecto a la vegetación secundaria ésta fue catalogada como una sola clase sin considerarse su estado sucesional; los pastizales y áreas agrícolas se agruparon en la clase agropecuario; las clases correspondientes a urbano y cuerpos de agua fueron catalogadas como clases por separado (Figura 1).

Métricas para estudiar la fragmentación y conectividad estructural del paisaje. Se aplicó el programa FRAGSTATS (versión 4.0, 2002. Departamento de conservación ambiental, Universidad de Massachusetts, USA) para cuantificar la estructura del territorio usando las cinco clases de cobertura del suelo. Se consideró a las selvas y los cuerpos de agua como parte del paisaje natural del felino; la vegetación secundaria, al tratarse de un mosaico de coberturas en diferentes estadios de sucesión, fue considerada una cobertura de transición entre la cobertura natural y los espacios antropizados, y las coberturas de suelo clasificadas como antrópicas se consideraron como desfavorables para los felinos (Zarza et al., 2007, Chávez y Zarza, 2009; y Conde et al., 2010). Con base en estos criterios, se elaboró la matriz de contraste en la cual los valores asignados evalúan el grado de contraste que percibe el felino al atravesar las diferentes clases de cobertura de suelo que conforman la estructura del paisaje (Cuadro 1).

Cuadro 1. Matriz de contraste con base en los requerimientos de *Panthera onca*: agropecuario (AGRO), cuerpo de agua (AGUA), selva (SELVA), urbano (URB) y vegetación secundaria (VEG SEC; elaboración propia).

<i>Cobertura del suelo</i>	<i>AGRO</i>	<i>AGUA</i>	<i>SELVA</i>	<i>URB</i>	<i>VEG SEC</i>
<i>AGRO</i>	0	0.8	0.8	0.4	0.4
<i>AGUA</i>	0.8	0	0.2	1	0.3
<i>SELVA</i>	0.8	0.2	0	1	0.3
<i>URB</i>	0.4	1	1	0	0.8
<i>VEG SEC</i>	0.4	0.3	0.3	0.8	0

0 = mínimo contraste; 1 = máximo contraste

Con respecto a las métricas del paisaje y de acuerdo a las recomendaciones encontradas en la literatura (McGarigal y Marks, 1994; Grainger et al., 2005), se eligieron

medidas absolutas en el caso del paisaje y medidas relativas al comparar las clases en virtud de que se tratan de territorios con medidas de área diferentes.

Con base en su significancia ecológica para entender la conectividad estructural desde la perspectiva de *P. onca*, se seleccionaron índices de área y borde, de contraste, de aislamiento y de agregación (Anexo I). A nivel paisaje, las métricas de contraste se enfocan en los bordes como límites y potenciales impedimentos al movimiento de los organismos y hacen referencia a cómo los bordes influyen en la conectividad del paisaje; las métricas de aislamiento, describen el grado de separación espacial entre los parches haciendo referencia al grado de conectividad del paisaje así como su impacto en la dispersión de los organismos (McGarigal y Marks, 1994).

Análisis de la conectividad funcional para Panthera onca. De acuerdo a las preferencias de hábitat de *P. onca* (con análisis de cada sexo por separado) se elaboró un modelo de conectividad funcional identificándose las rutas de menor costo que permitieran su movilidad en el paisaje con base en su resistencia al desplazamiento. Se utilizó el panel “*Habitat Suitability*” del módulo “*Land Change Modeler*” del programa IDRISI Taiga (Eastman, 2009) para generar los mapas de hábitat para cada sexo siendo la resolución de las celdas de 50 × 50 m. (Pascual-Hortal, 2006; Rabinowitz y Zeller, 2010; Rayfield et al., 2010).

Las variables elegidas para modelizar los mapas de hábitat se basaron en las preferencias de hábitat que presenta cada sexo reportado por estudios realizados con *P. onca* (Lasch y Serrano, 2005; Colchero et al., 2006; Zarza et al., 2007; Chávez y Zarza, 2009; Conde et al., 2010; Colchero et al., 2011; González, 2011). Las variables descriptivas del modelo fueron la cobertura del suelo, la cercanía a poblados, la cercanía a las vías de comunicación, y el tamaño de los parches; la cobertura de hidrología no se utilizó en virtud de que la zona carece de cuerpos de agua permanentes. Con base en estas variables se crearon categorías con sus respectivos buffers en el caso de las variables cercanía a poblados y vías de

comunicación y se les asignó un valor numérico de acuerdo a las preferencias de hábitat que presenta cada sexo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variables elegidas para modelizar los mapas de hábitat de *P. onca* de acuerdo a las preferencias de hábitat que presenta cada sexo: cobertura del suelo y sus categorías [selva, cuerpo de agua (Agua), vegetación secundaria (Veg Sec), agropecuario (Agro), y urbano (Urb)]; cercanía a poblados y sus categorías; cercanía a vías de comunicación y sus categorías; así como el tamaño de los parches y sus categorías (elaboración propia).

<i>VARIABLES</i>	<i>CATEGORÍAS</i>				
Cobertura del suelo	Selva	Agua	Veg Sec	Agro	Urb
<i>Hembra</i>	5	5	3	2	1
<i>Macho</i>	5	5	4	3	1
Cercanía a poblados	< 2 Km	2 a 6.5 Km	> 6.5 Km		
<i>Hembra</i>	1	3	5		
<i>Macho</i>	2	4	5		
Cercanía a vías	< 1 Km	1 a 4 Km	> 4 Km		
<i>Hembra</i>	1	3	5		
<i>Macho</i>	2	4	5		
Tamaño de parche	< 60 Km ²	≥ 60 Km ²			
<i>Hembra</i>	3	5			
<i>Macho</i>	2	5			

1^a variable: cobertura del suelo. Categorías: selva, vegetación secundaria, agropecuario y urbano. La literatura citada refiere que ambos sexos prefieren las selvas; sin embargo, *P. onca* macho hace uso de la vegetación secundaria y las áreas agropecuarias con mayor frecuencia que la hembra, siendo evitadas las zonas urbanas por ambos sexos (Colchero et al., 2006; Zarza et al., 2007; Conde et al., 2010).

2^a variable: cercanía a poblados. Categorías: <2 Km, 2 a 6.5 Km y >6.5 Km. La literatura refiere que *P. onca* evita los poblados a los 6 Km; sin embargo, *P. onca* macho hace

incursiones a los poblados con mayor frecuencia que la hembra (Colchero et al., 2006; Zarza et al., 2007; Conde et al., 2010).

3^a variable: cercanía a las vías de comunicación (pavimentadas y no pavimentadas en virtud de que se considera el efecto que ejercen estos caminos en la cacería sobre *P. onca*, Hernández y Calmé, 2002). Categorías: <1 Km, 1 a 4 Km y >4 Km. Encontramos que *P. onca* evita las carreteras a los 4 Km; sin embargo, el macho se acerca e incluso atraviesa las vías de comunicación (Colchero et al., 2006; Zarza et al., 2007; Conde et al., 2010).

4^a variable: tamaño de los parches. Categorías: <60 km² y >60 km², estas categorías se determinaron de acuerdo al ámbito hogareño de *P. onca* macho el cual es de 60km² y en el cual podemos encontrar el territorio de dos hembras en promedio (Ceballos et al., 2001; Zarza et al., 2007; Rodríguez–Soto et al., 2011).

Se contó con 19 registros verificados de la presencia de *P. onca* en el área de estudio, los cuales se obtuvieron a partir de estudios previos, reportes de imágenes captadas con cámaras trampa y entrevistas (Anexo II). Se llevó a cabo la construcción del modelo de hábitat para ambos sexos a partir de las cuatro variables antes referidas y los 19 registros de presencia de *P. onca* aplicando el algoritmo “Mahalanobis Typicality” (Rodríguez-Soto et al., 2011) del programa IDRISI Taiga (Eastman, 2009). El módulo “Land Change Modeler” modelizó el hábitat de *P. onca* a través de la creación de un modelo empírico ya que en el presente estudio se contaron con registros de presencia de *P. onca* en el paisaje (Anexo II), de tal manera que el programa aplicó el modelo estadístico “Mahalanobis typicality”. Este algoritmo marcó una celda con valor de 1.0 cuando determinó que para ese punto las variables analizadas en la construcción del modelo (medioambientales y antrópicas) eran idénticas a la media de las variables encontradas en los puntos de entrenamiento del paisaje (datos de presencia de *P. onca*); los valores se aproximaron a 0 cuando para determinada celda las variables analizadas fueron diferentes a las encontradas en los puntos de entrenamiento.

Cualquier celda con valor superior a 0 presentó alguna similitud con los puntos tomados como datos de entrenamiento.

Con respecto a los corredores para *P. onca*, no hay evidencia en la literatura que describa el ancho de los corredores; sin embargo, sí hay reportes para pumas (*Puma concolor*) los cuales oscilaban entre 90 y 500 m (Beier, 1995; Maehr et al., 2002; González, 2011). De esta manera, tomando como referencia la medida señalada para *P. concolor* se optó por un ancho promedio de 200 m para el corredor de *P. onca*.

Posteriormente con base en los mapas de hábitat se identificaron con el panel “*Corridor Planning*” del módulo “*Land Change Modeler*” (IDRISI Taiga, Eastman, 2009) los corredores biológicos para ambos sexos – con un ancho de 200 m – entre los tres fragmentos más importantes del paisaje (Puuc, Chenes y X’Panzil). Con respecto a la validación en campo del estado actual de los corredores, esta se llevó a cabo en los puntos cercanos a las vías de comunicación.

Identificación de áreas prioritarias para su conservación en el paisaje Puuc–Chenes. Se consideraron como áreas estratégicas para la conservación los fragmentos que cumplieron con las siguientes características:

- Parches de selva superiores a los 900 Km², en virtud de que ésta es la extensión mínima necesaria para conservar una población viable de *P. onca* (Ceballos et al., 2001; Rodríguez–Soto, 2011).
- Parches de selva prioritarios para mantener la conectividad para *P. onca* a lo largo de los corredores biológicos identificados.

Se utilizó el programa ArcMap (versión 9.3. ESRI Inc, New York Street, CA, USA) para seleccionar las áreas de importancia para la conservación.

Resultados

Conectividad estructural del paisaje Puuc-Chenes con base en los requerimientos de Panthera onca. Los resultados de las Métricas del paisaje aplicadas pueden consultarse en el Cuadro 3.

Índices de área y número de fragmentos. La extensión total del paisaje Puuc-Chenes es de 972,578 Ha. La clase dominante es la selva al ocupar el 49.77% del área. La selva presenta el fragmento más grande el cual abarca el 13.44% del paisaje y cuya extensión es de 130,724 ha. El paisaje presenta 2,446 parches de los cuales 935 son antrópicos (agropecuario y urbano), 1,254 corresponden a vegetación secundaria, 250 a selvas y 7 a cuerpos de agua. La clase con mayor densidad de parches (PD, por sus siglas en inglés) es la vegetación secundaria con 7 de cada 100 Ha.

Índices de borde y de contraste. El índice de contraste total de los bordes (TECI, por sus siglas en inglés) para el paisaje es de 43.68%. El valor más alto del contraste ponderado de la densidad del borde (CWED, por sus siglas en inglés) se encuentra en la clase de selva (2.45 m Ha^{-1}) y el valor más bajo de este índice lo presentan los cuerpos de agua. La clase con el mayor índice de densidad de borde (ED, por sus siglas en inglés) es la vegetación secundaria con 5.61 de cada 100 Ha.

Índices de aislamiento. Los fragmentos de selva presentan el Índice de distribución de proximidad (PROX_AM, por sus siglas en inglés) más alto (8,701) y el más bajo lo encontramos en los cuerpos de agua. La distancia euclídeana más cercana (ENN_AM, por sus siglas en inglés) corresponde a la selva (221 m) lo cual nos refiere que la selva presenta la menor distancia entre los parches que la conforman. Los cuerpos de agua presentan la distancia más lejana (11,049 m).

Índices de agregación. El índice de contagio (CONTAG, por sus siglas en inglés) para el paisaje es de 62.51%.

Cuadro 3. Resultados de las métricas aplicadas a nivel paisaje y de clases desde la perspectiva de *P. onca*. Tipos de clases: selva, vegetación secundaria, agropecuario, urbano y cuerpos de agua.

<i>Índice</i>	<i>Descripción</i>	<i>Resultados</i>					
		<i>PAISAJE</i>	<i>SELVA</i>	<i>VEG SEC</i>	<i>AGRO</i>	<i>URB</i>	<i>AGUA</i>
NIVEL PAISAJE							
TA	Área total del paisaje (Ha)	972,578	-	-	-	-	-
NP	Número de parches	2,446	-	-	-	-	-
	Índice de						
TECI	Contraste total de los bordes (%)	43.68	-	-	-	-	-
CONTAG	Índice de contagio (%)	62.51	-	-	-	-	-

NIVEL CLASES

%LAND	Porcentaje del	-	49.77	27.00	22.96	0.25	0.00
	paisaje (%)						
PD	Densidad de						
	parches No/100 Ha	-	2.00	7.00	5.00	1.00	0.00
ED	Densidad de						
	borde (m Ha ⁻¹)	-	4.87	5.6	3.7	0.08	0.01
AREA_AM	Tamaño						
	promedio	-	130,723.7	10,655.5	8,378.9	171.7	3.8
	ponderado de los parches (Ha)						

Contraste									
ponderado de la									
densidad de	–	2.45	2.66	2.00	0.02	0.00			
borde (m Ha ⁻¹)									
Área ponderada									
media del									
Índice de									
distribución de	–	8,701	422	762	1	0			
proximidad (sin									
unidades)									
Desviación									
estándar de la	–	48221.90	1532.43	1466.08	22.25	21021.59			
distribución de									
CWED									
PROX_AM									
PROX_SD									

proximidad (sin
unidades)

Área ponderada							
media de la							
distancia							
euclidiana al	-	221.35	362.86	278.90	8,108.24	11,049.11	
vecino más							
cercano (m)							
Desviación							
estándar de la							
distancia	-	368.58	383.24	561.07	7785.69	7649.54	
euclideana (m)							

(-) = No aplica

Identificación de áreas prioritarias para su conservación en el paisaje Puuc-Chenes. Se identificaron dos parches de selva en el paisaje Puuc–Chenes con área superior a los 900 Km²: el parche del Puuc con 1,916 Km² y el parche de Los Chenes con 1,380 Km². Además, se identificaron dos parches de selva con área menor a los 900 Km² pero prioritarios para mantener la conectividad de *P. onca* a lo largo de los corredores biológicos: el parche X'Panzil con 679 Km² y parche Noh-Ha con 88.5 Km² (Figura 2).

Conectividad funcional del paisaje Puuc-Chenes de acuerdo a los requerimientos de Panthera onca. En el paisaje Puuc–Chenes se ubicaron cinco corredores biológicos para *P. onca* de al menos 200 m de ancho; de estos, los tres primeros enlazan los parches Puuc y Chenes (corredores Puuc–Chenes) y los dos restantes enlazan los parches X'Panzil y Chenes (corredores X'Panzil–Chenes; Figura 3).

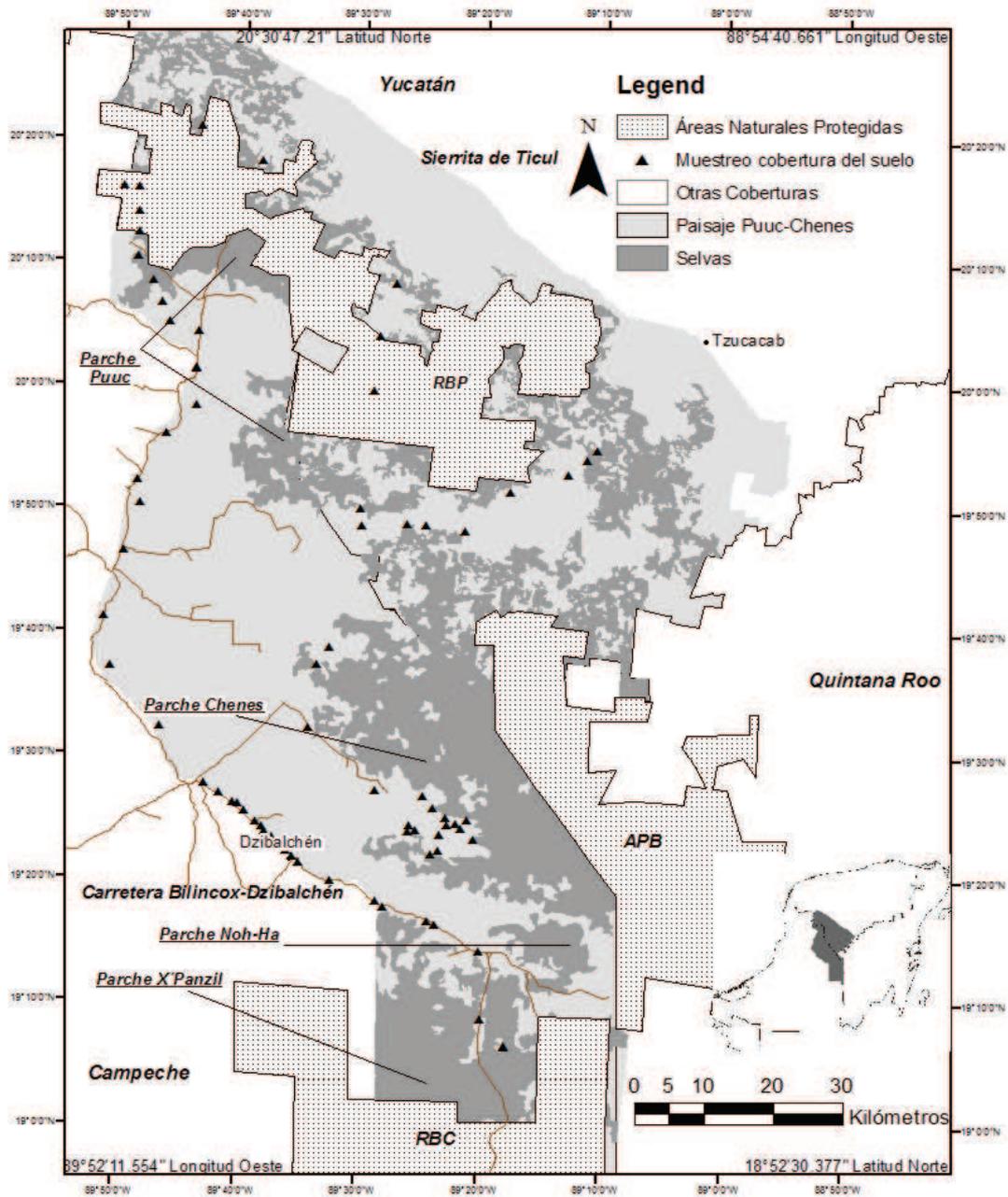


Figura 2. Parches de selva prioritarios a conservar ubicados entre las tres Áreas Naturales Protegidas del paisaje Puuc-Chenes: el Área de protección de flora y fauna de Bala'an K'aax (APB), Quintana Roo; la Reserva de la Biósfera de Calakmul (RBC), Campeche y la Reserva Biocultural del Puuc (RBP), Yucatán. Los parches de selva prioritarios con área superior a los 900 Km² son: Puuc y Chenes; los parches de selva prioritarios con área menor a los 900 Km² son X'Panzil y Noh-Ha. También pueden observarse los puntos muestreados con respecto a los tipos de cobertura de suelo encontrados en el paisaje.

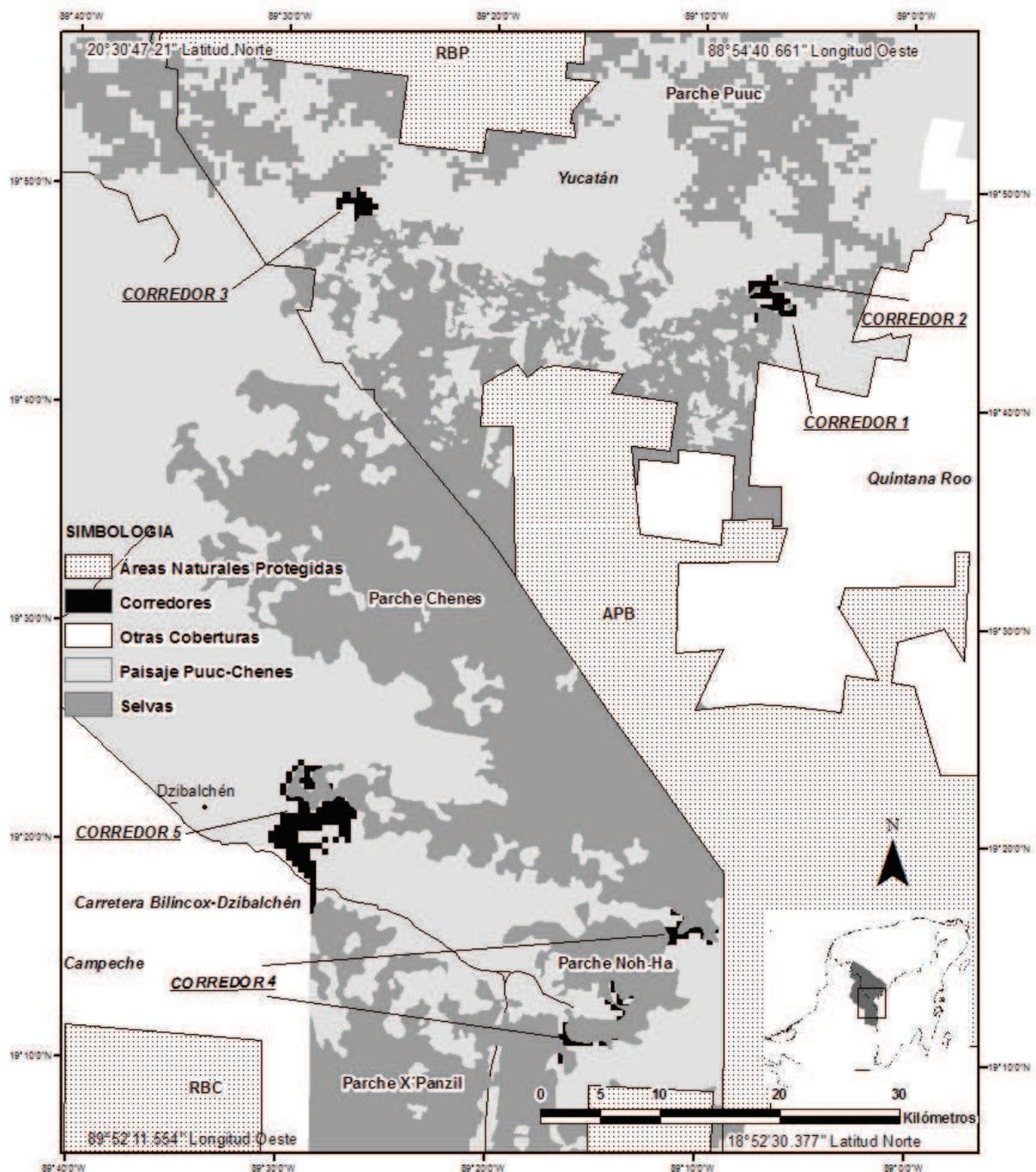


Figura 3. Paisaje Puuc–Chenes donde se observan los cinco corredores identificados para mantener la conectividad de *P. onca* entre los cuatro parches de selva prioritarios (Puuc, Chenes, Noh-Ha y X'Panzil) y las tres Áreas Naturales Protegidas del paisaje Puuc-Chenes: el Área de protección de flora y fauna de Bala'an K'aax (APB), Quintana Roo; la Reserva de la Biósfera de Calakmul (RBC), Campeche y la Reserva Biocultural del Puuc (RBP), Yucatán.

El corredor 1 con conectividad para ambos sexos se ubicó entre los poblados de Poltok, Tekax y San Sebastián, Tzucacab en Yucatán. El corredor 2 con conectividad para ambos sexos se localizó entre los poblados de San Sebastián, Tzucacab y Nacaveba, Tekax en Yucatán; los corredores 1 y 2 no son contiguos, encontrándose separados por una distancia de 2 Km; no presentan carreteras y solo son atravesados por terracerías; siendo sus principales coberturas de suelo la vegetación secundaria y la agropecuaria. El corredor 3 con conectividad para *P. onca* macho se ubicó entre los poblados de San Felipe Segundo, Tekax y Tres Hermanitas, Tekax, en Yucatán; está compuesto por un mosaico de selvas, vegetación secundaria y cultivos y es atravesado por la carretera de doble carril que une a los poblados de Hunto–Chac y Becanchén. En los corredores Puuc–Chenes, se encontraron cultivos y pastizales a los lados de las terracería principales, siendo el corredor 3 el que presenta un mejor estado de conservación de la selva.

Los corredores 4 y 5 (corredores X’Panzil–Chenes), se caracterizan por el buen estado de conservación de la selva y la ausencia de poblados en su mayor parte; los dos corredores presentaron conectividad funcional para ambos sexos. La ruta del corredor 4 atraviesa el parche Noh–Ha, estando ubicado entre los poblados de Chan Chen y Chun’Ek, Hopelchén y únicamente presenta terracerías. El corredor 5 atraviesa la carretera estatal que conecta los poblados de Chunchintok y Ukum a nivel de la siguiente coordenada: 89° 28’ 20.95’’ O y 19° 17’ 57.52’’ N, Hopelchén.

Discusión

La pérdida de hábitat, la fragmentación y su impacto en Panthera onca. Numerosos trabajos previos hacen referencia a los efectos negativos de la pérdida de hábitat en la biodiversidad al afectar la abundancia de las poblaciones silvestres, su distribución, la capacidad de dispersión de los organismos y su diversidad genética, poniendo énfasis en los organismos de talla grande o especialistas (Gibbs, 2001). El impacto de la fragmentación del hábitat puede ser variable, dependiendo del organismo (Fahring, 2003). En el caso de *P. onca* al tratarse de un mamífero de talla grande y con altos requerimientos de territorio adquiere especial relevancia el grado de conectividad que presenta un paisaje fragmentado (Haag et al., 2010; Colchero et al., 2011). Diversos estudios que han evaluado el grado de variabilidad genética de estos felinos en paisajes fragmentados han revelado poca evidencia de pérdida de diversidad genética; sin embargo, un análisis reciente de la estructura genética de las poblaciones de *P. onca* en los parches remanentes del bosque Atlántico en Sudamérica (un paisaje con elevada pérdida de hábitat, altamente fragmentado y dominado por actividades agrícolas y ganaderas), revelaron pérdida de la diversidad genética y una elevada diferenciación entre las subpoblaciones de *P. onca*, lo que implica una pobre dispersión de los organismos entre los parches (Haag et al., 2010). Esto sugiere que a pesar de que *P. onca* es catalogada como una especie generalista y con amplia capacidad de dispersión, los paisajes altamente fragmentados pueden representar una barrera real para el desplazamiento de individuos entre los parches remanentes; esto evidencia la relevancia de conservar la conectividad del paisaje. Por ejemplo, De Angelo et al. (2011), determinaron que el puma (*Puma concolor*) presenta mayor tolerancia a los paisajes antropizados y en consecuencia tiene mayor capacidad de dispersión en comparación con *P. onca*, lo cual nos sugiere que la conectividad es diferente para ambas especies y refieren que en muchos territorios en los cuáles *P. onca* ha sido erradicado, *P. concolor* es persistente.

En el paisaje Puuc–Chenes, la distribución espacial de los elementos que lo conforman no es homogénea, las clases antrópicas (agropecuario y urbano) se ubican cercanas a las principales vías de comunicación (Maxcanú–Tzucacab y Hunto Chac–Sudzal Chico en Yucatán, y Bolonchén de Rejón–Dzibalchén en Campeche) y los parches de selva de mayor extensión y conectividad se localizan de norte a sur a lo largo de la parte oriental del paisaje, de tal manera que el área de estudio aún presenta un alto grado de conservación del hábitat para *P. onca* cuyas áreas corresponden al 49.77% y 27% del paisaje respectivamente, de tal manera que el 76.77% de la cobertura total del suelo en el área de estudio corresponde a clases de vegetación utilizadas comúnmente como hábitat por *P. onca* (Zarza et al., 2007; Chávez y Zarza, 2009; Rabinowitz y Zeller, 2010; Colchero et al., 2011). Los cuatro parches de selva identificados en el paisaje Puuc–Chenes representan en conjunto el 41.78% del territorio estudiado, sin embargo, el parche del Puuc a pesar de ser el de mayor extensión presenta un elevado grado de perforación en su mitad inferior, lo cual nos indica un proceso inicial de fragmentación, que impactará la conectividad al interior del fragmento. Por otra parte, la extensión mínima necesaria referida para conservar una población viable de jaguar se calcula en 900 Km² de hábitat (Schaller y Crawshaw, 1980; Ceballos et al., 2001; Scognamillo, 2001; Maffei, 2004; Zarza et al., 2007; Conde et al., 2010; Rodríguez–Soto et al., 2011); en el presente estudio encontramos que la extensión de hábitat para *P. onca* en el paisaje Puuc-Chenes más el área correspondiente a las ANP adyacentes: RBC, APB y RBP presenta un total de 15,943 Km² lo cual supera la superficie mínima para mantener una población viable y asegurar la persistencia de *P. onca* en la región. Sin embargo, debido a que se trata de una región con fuertes presiones antrópicas resultantes de la expansión de las colonias menonitas quienes realizan cultivos extensivos y tecnificados, y de las actividades agropecuarias empresariales esta área se encuentra en gran riesgo de fragmentación y deforestación. En este estudio no se evaluó las condiciones ecológicas de los parches de selva

identificados como prioritarios para mantener la conectividad del paisaje; en este contexto, Ochoa–Gaona et al. (2010) desarrolló un índice para evaluar las condiciones ecológicas de las selvas y así contribuir al manejo y conservación de los parches remanentes teniendo como indicadores: la estructura vertical y horizontal de la selva, la regeneración natural de las especies arbóreas, el tipo de vegetación, la riqueza de especies y los factores de disturbio.

Fragmentación y conectividad estructural del paisaje Puuc–Chenes para Panthera onca. A nivel de paisaje diversos estudios destacan la relevancia del índice de contraste total de los bordes ya que se trata de una métrica directamente relacionada con el grado de conectividad del paisaje al hacer referencia a la magnitud de contraste que percibe en este caso *P. onca* entre los parches de las diferentes clases (McGarigal y Marks, 1994). En el presente trabajo encontramos que esta métrica tiene un valor del 43.68%. Por su parte Constible et al. (2005) reporta que el uso del territorio por los linces (*Lynx rufus*) se amplía al elevarse los valores del contraste ponderado de la densidad de borde, en especial cuando la disponibilidad del hábitat es bajo. En el presente estudio, a pesar de que el contraste ponderado de la densidad de borde correspondiente a las clases de vegetación secundaria y selva fueron los más altos, estas clases ocuparon el mayor porcentaje del paisaje (hábitat para *P. onca*); sin embargo, se desconoce si sus ámbitos hogareños en el paisaje Puuc–Chenes son similares a los reportados para otras regiones de la Península de Yucatán (Ceballos et al., 2001; Zarza et al., 2007; Rodríguez–Soto et al., 2011). Es interesante resaltar que al utilizar una métrica ponderada se disminuyó la influencia del tamaño de las clases en los resultados, ya que ésta métrica estandariza la longitud de los bordes por unidad de área y facilita la comparación entre clases de diferente tamaño (McGarigal y Marks, 1994). Sin embargo, los resultados reportados por el contraste ponderado de la densidad de borde para la vegetación secundaria (matriz del paisaje) y la selva deben ser considerados con cautela al tratarse de las clases dominantes del paisaje y en

consecuencia presentar una mayor probabilidad de que sus bordes entren en contacto con las demás clases estudiadas y con el borde del paisaje.

Con respecto a las métricas de aislamiento para *P. onca*, la selva presentó el área ponderada media del índice de distribución de proximidad más alto (8,701) lo cual nos permite inferir que la selva presenta parches más grandes y más contiguos (menor aislamiento) en comparación con las otras clases del paisaje y en consecuencia presentan la mejor conectividad estructural del paisaje en virtud de que favorece la capacidad de dispersión de *P. onca*. Por su parte Bender et al. (2003), describe la relevancia de estudiar el aislamiento entre los parches para permitir la dispersión de los organismos y determinaron que la métrica menos adecuada para predecir las tasas de inmigración en paisajes con fragmentos de diferente tamaño y forma es la distancia euclídeana debido a que esta es meramente lineal y sin mayor consideración del efecto de borde o ubicación en el paisaje y destacaron la mayor eficacia del índice de distribución de proximidad.

Las métricas de agregación tales como el índice de contagio y densidad de parches tienen relación con el grado de fragmentación y hacen referencia al porcentaje de agregación de los parches (valores altos del índice de contagio guardan relación con paisajes que presentan parches más grandes y más contiguos; McGarigal y Marks, 1994). En el presente trabajo se obtuvo un índice de contagio a nivel paisaje del 62.5%, lo cual nos indica que para *P. onca* el grado de unión entre los parches de cada clase es superior a la media esperada para este índice, Grainger et al., (2005) encontraron que tanto un bajo índice de contraste total de los bordes como un alto índice de contagio están relacionados positivamente con un incremento en su conectividad y por ende en una mayor área de distribución de elefantes en África.

Kie et al. (2001) resaltan la importancia de los paisajes heterogéneos en la distribución del venado bura (*Odocoileus hemionus*) correlacionado el tamaño promedio de

los parches con el área de distribución de dicha especie. En el presente estudio el valor más alto para esta métrica le correspondió a la selva. Con respecto a la densidad de parches el máximo valor lo obtuvo la vegetación secundaria con 7 de cada 100 Ha, al igual que la mayor densidad de borde con 5.61 m Ha^{-1} ; ambos son indicadores de fragmentación, lo cual era de esperarse ya que se trata de la matriz del paisaje y la clase más fragmentada; sin embargo, se ha descrito que la vegetación secundaria también es utilizada por *P. onca* (Zarza et al., 2007).

Fragmentación y conectividad funcional del paisaje Puuc–Chenes para Panthera onca. Los grandes carnívoros son organismos que requieren de amplios territorios y que presentan bajas densidades poblacionales (De Angelo et al. 2011), situación que los hace especialmente susceptibles a las modificaciones de la cobertura del suelo. Crooks (2002) documentó los efectos negativos que la fragmentación y la pérdida del hábitat ejercen sobre los carnívoros de talla grande, y la Biología de la Conservación nos refiere que los corredores favorecen el intercambio genético a través de la dispersión de los organismo entre los parches (Rabinowitz y Zeller, 2010). Gilbert–Norton et al. (2009) comprobó que los corredores incrementan en casi un 50% el movimiento de los organismos entre los parches en comparación con aquellos fragmentos sin conexión, información que resalta la relevancia de conservar los corredores identificados para *P. onca* entre los principales parches del paisaje Puuc–Chenes.

Gavashelishvili y Lukarevskiy (2008), así como Rabinowitz y Zeller (2010) determinaron corredores de menor costo para el leopardo (*Panthera pardus*) en Asia y para *P. onca* a lo largo de su área de distribución y González (2011) desarrolló corredores para el puma (*Puma concolor*); sin embargo, no se hizo diferencia entre corredores para cada sexo a pesar de que la literatura nos sugiere su relevancia ya que *P. onca* macho y hembra presentan diferentes preferencias en el uso del hábitat (Conde et al., 2010). Además, es relevante señalar que se extrapolaron datos de pumas de Canadá y Estados Unidos de Norteamérica para determinar el ancho de los corredores para *P. onca*, de tal manera que se obtuvo una

aproximación a los datos biológicos de *P. onca*; en el presente estudio de los cinco corredores resultantes cuatro fueron viables para ambos sexos (corredores 1, 2, 4 y 5) y solo uno exclusivo para *P. onca* macho. No se esperaba que los corredores 1 y 2 presentaran conectividad para *P. onca* hembra, debido a que las hembras tratan de evitar las áreas agropecuarias prefiriendo las selvas (Conde et al., 2010); sin embargo, también refiere la literatura que *P. onca* hembra muestra preferencia por los paisajes sin carreteras y sin poblaciones cercanas (Zarza et al., 2007; Conde et al., 2010), características que presentan los corredores 1 y 2. En el caso del corredor 3 con conectividad exclusiva para *P. onca* macho, encontramos que aunque presenta un mejor estado de conservación de la selva remanente, es atravesado por una carretera estatal de dos carriles, las cuales tienden a ser evitadas por *P. onca* hembra (Lasch y Serrano, 2005; Chávez y Zarza, 2009). El corredor 4 es el mejor conservado del paisaje Puuc–Chenes y el corredor 5 a pesar de ser atravesado por una carretera federal de dos carriles, no presenta poblaciones cercanas y aún conserva su cobertura de selva natural, lo que los hace accesibles a *P. onca* hembra; sin embargo, estos corredores se ven amenazados por el avance de la frontera agrícola.

Al tratarse *P. onca* de un organismo críptico (Isasi–Catalá y Barreto, 2008) se sugiere realizar más trabajos con la finalidad de validar los corredores identificados en el presente estudio utilizando otros métodos de campo que permitan determinar la presencia/ausencia de *P. onca* en los corredores, como son el uso de cámaras trampa, registro de huellas y telemetría de los organismos tal como sugieren otros trabajos que estudiaron poblaciones de tigres, lince y jaguares (Kramer–Schadt et al., 2004; Carroll y Miquelle, 2006; Linkie et al., 2006; Michalski et al., 2006).

También se sugiere elaborar mapas de calidad de hábitat con variables no consideradas en el presente estudio tales como: densidad de presas, condiciones ecológica de los parches y escorrentías en el paisaje (Contreras, 2011; Rodríguez–Soto, 2011).

Conclusiones

El paisaje Puuc–Chenes presenta una conectividad estructural superior a la media para *P. onca* (en virtud de que los valores referidos por el índice de contagio y el índice de contraste total de los bordes son superiores al valor medio de estos índices). De acuerdo a los valores referidos por los Índices señalados, se concluye que el paisaje Puuc-Chenes presenta una conectividad estructural superior a la media y mantiene una importante cantidad de hábitat para el mantenimiento de una población viable, situación que favorece la presencia y dispersión de *P. onca* en el paisaje.

Con la finalidad de mantener la conectividad del paisaje Puuc–Chenes para *P. onca* se sugiere llevar a cabo acciones para conservar los cuatro parches de selva identificados: Puuc, Chenes, X’Panzil y Noh–Ha, así como la vegetación secundaria adyacente. Al respecto encontramos que la mitad sur del parche Puuc presenta un elevado proceso de perforación (aunque la mayor extensión de este parche goza de protección al formar parte de la Reserva Biocultural del Puuc). La mayor amenaza para el parche Chenes es la acelerada expansión de los asentamientos menonitas hacia el interior del mismo ya que en la actualidad solamente la porción este del parche está protegido al formar parte del Área de Protección de Flora y Fauna Bala’an K’aax. Con respecto al parche X’Panzil, cuyo estado de conservación es bueno, necesita ser preservado en virtud de que se encuentra fuera del territorio protegido por la Reserva de la Biósfera de Calakmul. La conservación del parche Noh–Ha es fundamental para mantener la conectividad para ambos sexos de *P. onca* entre los parches X’Panzil y Chenes.

Solo cuatro corredores (1, 2, 4 y 5) presentaron conectividad funcional para ambos sexos de *P. onca*, situación que los hace prioritarios para su conservación y restauración (corredores 1 y 2). El corredor 4 presenta la mejor conectividad funcional del paisaje Puuc–Chenes para *P. onca*.

Agradecimientos

Agradecemos a José Luis Hernández Stefanoni del Centro de Investigación Científica de Yucatán, a Juan Carlos Faller Meléndez, a Gerardo García Contreras de Pronatura Península de Yucatán A. C. y a Luis Alfonso Pereira Lara de Biocenosis A. C. por su valiosa colaboración. Al CONACYT por la beca número 382708/255061 otorgada al primer autor para cursar la maestría en Recursos Naturales y Desarrollo Rural en Ecosur. A El Colegio de la Frontera Sur por el apoyo en infraestructura y recursos económicos.

Literatura citada

- Barrera, R. 1987. Tierra y productividad agrícola en la región Puuc. *Anales de Antropología* 24: 127–142.
- Beier, P. 1995. Dispersal of juvenile cougars in fragmented habitat. *Journal of Wildlife Management* 59: 228–237.
- Bender, D., L. Tischendorf y L. Fahring. 2003 Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes. *Landscape Ecology* 18: 17–39.
- Bioasesores A. C. 2011. Estudio regional forestal, UMAFOR 3106. CONAFOR-SEMARNAT. México. 556 pp.
- Carroll, C. y D. Miquelle. 2006. Spatial viability analysis of Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) in the Russian far east: the role of protected areas and landscape matrix in population persistence. *Journal of Applied Ecology* 43: 1056–1068.
- Ceballos, G., C. Chávez, A. Rivera y C. Manterola. 2001. Tamaño poblacional y conservación del jaguar en la reserva de la biósfera de Calakmul, Campeche, México. *In* Jaguares en el nuevo milenio: una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América, Medellín, R. A., C. Chetkiewicz, A. Rabinowitz, K. H. Redford, J. G. Robinson, E. Sanderson y A.

- Taber (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México/Wildlife Conservation Society, México D.F. pp. 403-418.
- Challenger, A. y J. Caballero. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F. 847 pag.
- Chávez, C. y H. Zarza. 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.
- Colchero, F., D. A. Conde, C. Manterola, y A. Rivera. 2006. Evaluación y diseño del corredor Sian Ka'an–Calakmul con base en el modelaje espacial del estado de conservación del hábitat de jaguar (*Panthera onca*) y su relación con la historia de uso de suelo. Unidos para la Conservación A.C. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. BJ006 México D.F.
- Colchero, F., D. A. Conde, C. Manterola, C. Chavez, A. Rivera y G. Ceballos. 2011. Jaguars on the move: modeling movement to mitigate fragmentation from road expansion in the Mayan forest. *Animal Conservation*, 14: 158–166.
- CONABIO. 2009. Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 82 pag.
- Conde, D., F. Colchero, H. Zarza, N. Christensen, J. Sexton, C. Manterola, C. Chávez, A. Rivera, D. Azuara, y G. Ceballos. 2010. Sex matters: modeling male and female habitat differences for jaguar conservation. *Biological Conservation* 143: 1980–1988.
- Constible, J; M. Chamberlain y B. Leopold. 2005. Relationships between landscape pattern and space use of three mammalian carnivores in central Mississippi. *The American Midland Naturalist* 155: 352–362.

- Contreras, F. 2011. Características del hábitat de ungulados en el corredor biológico Reserva de la Biosfera de Calakmul-Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche, México. Tesis de Maestría, División académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 80 pag.
- Crooks, K.R. 2002. Relative sensitivities of mammalian carnivores to habitat fragmentation. *Conservation Biology* 16: 488–502.
- De Angelo, C., A. Paviolo y M. Di Bitetti. 2011. Differential impact of landscape on pumas (*Puma concolor*) and jaguars (*Panthera onca*) in the Upper Paraná Atlantic Forest. *Diversity and Distributions* 17: 422–436.
- Eastman, J. 2009. IDRISI Taiga guide to GIS and image processing. Clark Labs, Clark University. 342 pag.
- Fahring, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34: 487–515.
- Ferrari, J. R., T. R. Lookingbill, M. C. Neel. 2007. Two measures of landscape-graph connectivity: assessment across gradients in area and configuration. *Landscape Ecology* 22: 1315–1323.
- Flores, J. y E. Ucán. 1983. Nombres usados por los mayas para designar a la vegetación. Xalapa, Veracruz, México. 16 pag.
- Forman, R. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology* 10: 133–142.
- Gavashelishvili, A. y V. Lukarevskiy. 2008. Modeling the habitat requirements of leopard *Panthera pardus* in west and central Asia. *Journal of Applied Ecology* 45: 579–588.
- Gibbs, J. P. 2001. Demography versus habitat fragmentation as determinants of genetic variation in wild populations. *Conservation Biology* 100: 15–20.

- Gilbert-Norton, L., R. Wilson, J. Stevens y K. Beard. 2009. A meta-analytic review of corridor effectiveness. *Conservation Biology* 24: 660–668.
- Gobierno del Estado de Campeche. 2007. Modelo de ordenamiento ecológico territorial y determinación de criterios para su gestión, para el municipio de Hopelchén. Campeche, México. 112 pag.
- González, Z. 2011. Conectividad funcional para el puma (*Puma concolor*) en el centro de México. Tesis, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, Querétaro, México. 70 pag.
- Grainger, M., R. Van Aarde e I. Whyte. 2005. Landscape heterogeneity and the use of space by elephants in the Kruger National Park, South Africa. *African Journal of Ecology* 43: 369–375.
- Haag, T; A. Santos; D. Sana; R. Morato; L. Cullen Jr; P. Crawshaw Jr; S de Angelo; M. di Bitetti; F. Salzano y E. Eizirik. 2010. The effect of habitat fragmentation on the genetic structure of a top predator: loss of diversity and high differentiation among remnant populations of Atlantic Forest jaguars (*Panthera onca*). *Molecular Ecology* 19: 4906–4921.
- Hernández, E. y S. Calmé. 2002. Patrones de cacería y conservación de la fauna silvestre en una comunidad maya de Quintana Roo, México. *Etnobiología* 2: 1–18.
- INEGI. 2009. Guía para la interpretación de cartografía, uso de suelo y vegetación, serie III, escala 1: 250,000. Aguascalientes, México. 74 pag.
- Isasi-Catalá, E. y G. Barreto. 2008. Identificación de individuos de jaguar (*Panthera onca*) y pumas (*Puma concolor*) a partir de morfometría de sus huellas (Carnívora: Felidae). *Revista de Biología Tropical* 56: 1893–1904.
- Kie, J., R. Bowyer, M. Nicholson, B. Boroski y E. Loft. 2001. Landscape heterogeneity at differing scales: effects on spatial distribution of mule deer. *Ecology* 83: 530–544.

- Kramer–Schadt, S., E. Revilla, T. Wiegand y U. Breitenmoser. 2004. Fragmented landscapes, road mortality and patch connectivity: modelling influences on the dispersal of Eurasian lynx. *Journal of Applied Ecology* 41: 711–723.
- Lasch, C. y A. Serrano. 2005. Plan de conservación para Calakmul-Balam Kin-Balam Kú, Campeche, México. Pronatura Península de Yucatán, A. C. y The Nature Conservancy. Campeche, México. 88 pag.
- Linkie, M., G. Chapron, D. Martyr, J. Holden y N. Leader–Williams. 2006. Assessing the viability of tiger subpopulations in a fragmented landscape. *Journal of Applied Ecology* 43: 576–586.
- Lord, J. y D. Norton. 1990. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conservation Biology* 4: 197–202.
- Maehr, D., E. Land, D. Shindle, O. Bass, y T. Hooctor. 2002. Florida panther dispersal and conservation. *Biological Conservation* 106: 187–197
- Maffei, L. 2004. One thousand jaguars (*Panthera onca*) in Bolivia’s Chaco? camera trapping in the Kaa Iya National Park. *Journal of Zoology* 262: 295–304.
- McGarigal, K. y B. J. Marks 1994. FRAGSTATS Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Oregon State University, Corvallis. 67 pag.
- Michalski, F., R. Boulhosa, A. Faria y C. Peres. 2006. Human-wildlife conflicts in a fragmented Amazonian forest landscape: determinants of large felid depredation on livestock. *Animal Conservation* 9: 179–188.
- Ochoa–Gaona, S., C. Kampichler, B.H.J. de Jong, S. Hernández, V. Geissen y E. huerta. 2010. A multi-criterion index for the evaluation of local tropical forest conditions in México. *Forest Ecology and Management* 260: 618–627.

- Pascual–Hortal, L. 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* 21: 959–967.
- Pither, J. y P.D. Taylor. 1998. An experimental assessment of landscape connectivity. *Oikos* 83: 166–174
- Porter, L., M. Sánchez y E. Alan. 2008. La conformación del paisaje y el aprovechamiento de los recursos naturales por las comunidades mayas de La Montaña, Hopelchén, Campeche. *Investigaciones Geográficas* 66: 65–80.
- Portillo–Quintero, C. 2010. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation* 143: 144–155.
- Rabinowitz, A. y K. A. Zeller. 2010. A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological Conservation* 143: 949–945.
- Rayfield, B., M. Fortin y A. Fall. 2010. The sensitivity of least-cost habitat graphs to relative cost surface values. *Landscape Ecology* 25: 519–532.
- Rodríguez–Soto, C., O. Monroy, L. Mairorano, L. Boitani, J. Faller, M. Briones, R. Núñez, O. Rosas, G. Ceballos y A. Falcucci. 2011. Predicting potential distribution of the jaguar (*Panthera onca*) in México: identification of priority areas for conservation. *Diversity and Distributions* 17 : 350–361.
- Sánchez, O., G. Islebe y M. Valdez. 2007. Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana* 9: 17–26.
- Schaller, G.B. y P.G. Crawshaw. 1980. Movement patterns of jaguar. *Biotropica* 12: 161–168.
- Scognamillo, D.G. 2001. Ecological separation between jaguar and puma in a mosaic landscape in the Venezuelan llanos. Tesis de Maestría, Universidad de Florida, Gainesville, Florida, EUA. 98 pag.

- Trejo, I. 2005. Análisis de la diversidad de la selva baja caducifolia en México. *In*. Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma, G. Halfpiter, J. Soberón, P. Koleff y A. Melic (eds.). Monografías Tercer Milenio, vol 4. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza, pp. 111–122.
- Turner, M. G., R. H. Gardner y R. V. O'Neill. 2001. Landscape ecology in theory and practice, pattern and process. EUA. 406 pag.
- Zarza, H., C. Chávez y G. Ceballos. 2007. Uso del hábitat del jaguar a escala regional en un paisaje dominado por actividades humanas en el sur de la Península de Yucatán. *In* Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas, C. Chávez et al. (eds). México, DF. Pp. 111–110.

Anexos

Anexo I. Métricas del paisaje aplicadas en el presente estudio (McGarigal y Marks, 1994).

Índice	Descripción	Fórmula	Interpretación	Significancia ecológica para <i>P. onca</i>
TA	Área total del paisaje	$A \left(\frac{1}{10,000} \right)$	NIVEL PAISAJE >0 Ha y sin límites.	La extensión del paisaje es relevante al estudiar carnívoros de talla grande como <i>P. onca</i> que requieren territorios grandes y presentan una elevada capacidad de dispersión.
NP	Número de parches	NP = N	>0 y sin límites.	A pesar de que <i>P. onca</i> es una especie generalista, prefiere los paisajes poco fragmentados.
TECI	Índice de Contraste Total de los Bordes	$\frac{\sum_{i=1}^{m'} \sum_{k=i+1}^{m'} (e_{ik} \cdot d_{ik})}{E'}$ (100)	0% ≤ TECI ≤ 100%. Se aproxima a 0 cuando hay poco contraste entre los bordes de todas las clases del paisaje. Es decir no impacta a la especie.	Un elevado contraste entre los bordes de los parches de todas las clases disminuye la conectividad del paisaje para <i>P. onca</i> y por ende su capacidad de dispersión.
CONTAG	Índice de contagio	$\left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m (P_i) \left[\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] \circ \left[\frac{1n(P_i)}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right]}{21n(m)} \right] (100)$	0% < CONTAG ≤ 100%. Cercano a 0 cuando el paisaje está muy desagregado (alta dispersión e intersección de las clases).	Un paisaje agregado beneficia a <i>P. onca</i> ya que incrementan su capacidad de dispersión.

NIVEL CLASES

%LAND	Porcentaje del paisaje	$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	<p>0% < %LAND ≤ 100%. Refiere el porcentaje del paisaje que equivale a cada clase que lo conforma.</p>	<p>Permite conocer la proporción del paisaje está dominado por clases que corresponden al hábitat para <i>P. onca</i>.</p>
PD	Densidad de parches	$\frac{n_i}{A} (10,000)(100)$	<p>PD > 0 No 100 Ha⁻¹.</p>	<p>A mayor fragmentación de las clases de selva y vegetación secundaria (mayor densidad de parches), disminuye la extensión de hábitat para <i>P. onca</i> en el paisaje.</p>
ED	Densidad de borde	$\frac{\sum_{k=1}^{m'} e_{ik}}{A} (10,000)$	<p>ED ≥ 0 m Ha⁻¹, sin límite.</p>	<p>Las clases con mayor densidad de borde significa que presentan parches pequeños y poco interconectados, lo que disminuye la capacidad de dispersión de <i>P. onca</i>.</p>
AREA_AM	Tamaño promedio ponderado de los parches	$\sum_{j=1}^n \left[x_{ij} \left[\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right] \right]$	<p>Tamaño promedio de los parches de una misma clase (Ha).</p>	<p>Permite conocer la extensión promedio de los parches que forman parte del ámbito hogareño de <i>P. onca</i> y conocer si su tamaño es suficiente para mantener organismos residentes (la densidad estimada para <i>P. onca</i> es de un individuo por cada 15–30 Km²).</p>

<p>CWED</p>	<p>Contraste ponderado de la densidad de borde</p>	$\frac{\sum_{k=1}^{m'} (e_{ik} \cdot d_{ik})}{A} (10,000)$	<p>CWED ≥ 0 m Ha-1, sin límite. Estandariza la cantidad de borde por unidad de área para su comparación entre clases.</p>	<p>Un elevado contraste entre los bordes de los parches de la clase disminuye la conectividad del paisaje para <i>P. onca</i> y por ende su capacidad de dispersión.</p>
<p>PROX_AM</p>	<p>Área ponderada media del índice de distribución de proximidad</p>	<p>PROX ≥ 0 sin unidades y sin límite. Equivale a 0 si el parche no tiene vecinos de la misma clase dentro del radio de búsqueda referido.</p>	<p>Permite determinar el aislamiento entre los parches de cada clase y su impacto en la dispersión de <i>P. onca</i>.</p>	
<p>PROX_SD</p>	<p>Desviación Estándar de la distribución de proximidad</p>	<p>PROX ≥ 0 sin unidades y sin límite. Equivale a 0 si el parche no tiene vecinos de la misma clase dentro del radio de búsqueda referido.</p>		
<p>ENN_AM</p>	<p>Área ponderada media de la Distancia Euclídiana al vecino más cercano</p>	<p>ENN > 0 m y sin límite. Distancia lineal en metros al parche vecino más cercano de la misma clase.</p>	<p>La clase con menor ENN presenta la menor distancia entre sus parches y favorece la dispersión de <i>P. onca</i>.</p>	

ENN_SD
Desviación
Estándar de
la distancia
Euclidiana

$$\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i'} h_{ij} - \left[\frac{\sum_{j=1}^{n_i'} h_{ij}}{n_i'} \right]^2}{n_i'}}$$

ENN > 0 m y sin límite. Distancia en metros al parche vecino más cercano de la misma clase.

Dónde:

A = Área total del paisaje (m²).

a_{ij} = Área del fragmento ij (m²).

d_{ik} = Disimilitud (contraste ponderado de borde) entre los fragmentos tipo i y k.

e_{ik} = Longitud total (m) de borde en el paisaje entre los diferentes tipos de fragmentos i y k (clases); incluye los límites del paisaje que solo presentan fragmentos del tipo i.

h_{ij} = Distancia (m) desde el fragmento ij al fragmento más cercano del mismo tipo (clases), basado en la distancia entre bordes.

i = 1, ..., m o m' tipos de fragmentos (clases).

j = 1, ..., número de fragmentos.

k = 1, ..., m o m' tipos de fragmentos (clases).

n = n_i = Número de fragmentos en el paisaje del fragmento tipo i (clase).

s = 1, ..., Número de fragmentos dentro de determinado rango.

Anexo II. Registros verificados de presencia de *P. onca* a lo largo del paisaje

	MUNICIPIO	SITIO	UTM OESTE	UTM NORTE	FECHA COLECTA	FUENTE
1	Tekax	Rancho Becanchen, 75 Km de Tekax	267839	2198933	2001	SEMARNAT
2	Muna	Rancho Yax-Kel	204142	2258607	2001	SEMARNAT
3	Muna	Rancho San Isidro	209263	2250057	2001	SEMARNAT
4	Tekax	Huntochac	255597	2182663.10	2001	SEMARNAT
5	Muna	Rancho San Lorenzo, Km 7 de la carr. Uxmal-San Simon	206459	2237808	2001	SEMARNAT
6	Tzucacab	Tigre grande-parcela	285979	2178550	2004	Tesis Luis Alfonso Pereira Lara
7	Tzucacab	Tigre grande-cueva	288310	2180363	2004	Tesis Luis Alfonso Pereira Lara
8	Oxkutzcab	Rancho Xcanajeleb	236546	2232114	2005	Tesis Luis Alfonso Pereira Lara
9	Oxkutzcab	Ejido de Xul, Rancho Noc-cacab	248733	2217971	2005	Tesis Luis Alfonso Pereira Lara
10	Santa Elena	Parcela de Don. Rogaciano Abnal Colli. Poblado de San Simon	205450	2237533	2004	Tesis Luis Alfonso Pereira Lara
11	Hopelchén	Ejido Pachuitz, Campeche	263453.63	218616.07	2011	Seguro de ataque por depredadores
12	Hopelchén	No referido	217914.50	2153122.02	1998	Proyecto P130 CONABIO
13	Hopelchén	Dzibalchén	212677.54	2155436.03	2004	Proyecto U014 CONABIO
14	Santa Elena	Santa Elena, Uxmal	210821.97	2253753.08	2004	Proyecto U014 CONABIO
15	Tzucacab	Ejido San Salvador PistéAkal, 40 Km al sur Tzucacab	279606	7807509	2012	Pronatura Península de Yucatán A.C.
16	Oxkutzcab	Reserva Biocultural Kaxil Kiuik	232820.2	2227031.93	2010	MILLSAPS COLLEGE y KAXIL KIUIC A.C. 2010-2011
17	Hopelchén	Campos menonitas (Nvo Durango)	246429.57	2153053.21	2012	Entrevista Tesis actual
18	Hopelchén	Campos menonitas (Nvo Durango)	249393.83	2149984.28	2012	Entrevista Tesis actual
19	Hopelchén	Laguna X'Maben	257452.61	2101763.95	2012	Entrevista Tesis actual

Conclusiones Generales

El paisaje Puuc–Chenes presenta una conectividad estructural superior a la media para *P. onca* (en virtud de que los valores referidos por el índice de contagio y el índice de contraste total de los bordes son superiores al valor medio de estos índices) y mantiene una importante cantidad de hábitat para el mantenimiento de una población viable, situación que favorece la presencia y dispersión de *P. onca* en el paisaje.

Los cinco corredores identificados presentaron conectividad funcional para *P. onca* macho; sin embargo, solo cuatro corredores (1, 2, 4 y 5) presentaron conectividad funcional para ambos sexos, situación que los hace prioritarios para su conservación y restauración (corredores 1 y 2). El corredor 4 presenta la mejor conectividad funcional del paisaje Puuc–Chenes para *P. onca*.

Para validar nuestros resultados, es importante el estudiar los corredores identificados utilizando otros métodos de campo que permitan determinar la presencia/ausencia de *P. onca* en los corredores, como son el uso de cámaras trampa, registro de huellas, análisis genéticos de excretas y telemetría de los organismos.

Es relevante estudiar la diversidad genética de los organismos de jaguar que habitan en este paisaje y en las ANP adyacentes.

A pesar de que gran parte del parche Puuc goza de protección al formar parte de la Reserva Biocultural del Puuc, su conectividad con el parche Chenes se encuentra amenazada por el avance de la frontera agropecuaria a todo lo largo del cono sur, así como por la construcción de caminos sin adecuaciones para disminuir del impacto que representan en la conectividad del paisaje para la fauna. Con respecto al parche Chenes, su mayor amenaza es la acelerada expansión de los

asentamientos menonitas ya que en la actualidad solo una porción del parche está protegido al formar parte del Área de Protección de Flora y Fauna Bala'an K'aax. La conservación del parche Noh-Ha es prioritario para mantener la conectividad para *P. onca* entre los parches X'Panzil y Chenes.

Literatura General

- Ceballos, G., C. Chávez, A. Rivera y C. Manterola., 2001. Tamaño poblacional y conservación del jaguar en la reserva de la biósfera de Calakmul, Campeche, México. In: Medellín, R. A., C.
- Chávez, C. y H. Zarza., 2009. Distribución potencial del hábitat del jaguar y áreas de conflicto humano–jaguar en la Península de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 13, pp.46–62.
- Chetkiewicz, A. Rabinowitz, K. H. Redford, J. G. Robinson, E. Sanderson y A. Taber, ed. *Jaguars en el nuevo milenio: una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América*, Universidad Nacional Autónoma de México/Wildlife Conservation Society, México D.F., pp. 403–418.
- Colchero, F., 2010. Jaguars on the move: modeling movement to mitigate fragmentation from road expansion in the Mayan forest. *Animal Conservation*, 14(2), pp.158-166.
- CONABIO, 2004 Áreas de importancia para la conservación de las aves (AICAS).
Página electrónica:
<http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html>. Fecha de
consulta: 08/12/2011.
- CONABIO, 2009. Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Conde, D., F. Colchero, H. Zarza, N. Christensen, J. Sexton, C. Manterola, C. Chávez, A. Rivera, D. Azuara, y G. Ceballos., 2010. Sex matters: modeling

- male and female habitat differences for jaguar conservation. *Biological Conservation*, 143(1), pp.1980–1988.
- Crooks, K.R., 2002. Relative sensitivities of mammalian carnivores to habitat fragmentation. *Conservation Biology*, 16(2), pp. 488-502.
- Forman, R., 1995. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10(3), pp.133-142.
- Lasch, C. y A. Serrano., 2005. Plan de conservación para Calakmul–Balam Kin–Balam Kú. Campeche, México.
- Lord, J. y D. Norton., 1990. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conservation Biology*, 4(2), pp.197–202.
- Pérez, S., 2008. Tesis: Estructura y conectividad del paisaje en el área de Nueva Palestina, Chiapas. San Cristobal de las Casas, Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur, pag.118.
- Pither, J. y P.D. Taylor., 1998. An experimental assessment of landscape connectivity. *Oikos*, 83(1), pp.166–174.
- Porter, L., M. Sánchez y E. Alan., 2008. La conformación del paisaje y el aprovechamiento de los recursos naturales por las comunidades mayas de La Montaña, Hopelchén, Campeche. *Investigaciones Geográficas*, 66, pp.65–80.
- Portillo-Quintero, C., 2010. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143(1), pp.144–155.
- Rabinowitz, A. y K. A. Zeller., 2010. A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological Conservation*, 143(4), pp.939–945.

- The Nature Conservancy, 2006. Una visión para el futuro, una agenda para hoy: plan ecorregional de las selvas Maya, Zoque y Olmeca. San José, Costa Rica.
- Tischendorf, L., 2000. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90(1), pp.7–19.
- Urquiza–Hass, T., M. Kolb, P. Koleff, A. Lira–Noriega y J. Alarcón., 2009. Methodological approach to identify Mexico’s terrestrial priority sites for conservation. *Gap analysis*, 16, p.11.
- Zarza, H., C. Chávez y G. Ceballos., 2007. Uso del hábitat del jaguar a escala regional en un paisaje dominado por actividades humanas en el sur de la Península de Yucatán. In C. Chávez et al., eds *Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas*, México, DF., pp. 101–110.
- Vila, J., D. Varga, A. Llausás, A. Ribas., 2006. Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d’Análisis Geogràfica*, 48, pp.151–166.