



**Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**  
**Instituto de Investigaciones Sobre los Recursos Naturales**



**Conectividad funcional para *Tlacuatzin canescens* en un paisaje  
de selva seca altamente fragmentado**

**TESIS**

**Para obtener el grado de**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA INTEGRATIVA**

**PRESENTA**

**Biól. Ariana González Cejudo**

**DIRECTOR DE TESIS**

**Eduardo Mendoza Ramírez**

**CO-DIRECTORA**

**Clementina González Zaragoza**

**Morelia, Michoacán, Agosto 2019.**

## DEDICATORIA

A los amores de mi vida (mis pequeños Dante y Draco) y a mi madre (Grace), por el apoyo  
y la paciencia, por las noches de desvelo,  
por los meses de mi ausencia...

Y ahora un poema al *Tlacuatzin*...

Hermano del proveedor del fuego a los huicholes, ¿quién te conoce? Eres apenas del  
tamaño de mis dedos, con esos enormes ojos delineados, y tu cuerpo tan versátil enroscado.  
Cuanto quisiera que te conocieran, son tan pocos marsupiales los de nuestra tierra dorada,  
tan pocos y tan ignorados.

Hermano del proveedor del fuego quédate guardado en el tronco hueco, quédate debajo de  
la hojarasca. Cuídate del huracán y el campo ardiente. Pequeño marsupial endémico,  
¿acaso mis hijos te conocerán?

Llevaste como el tlacuache un tizón en la cola, perdiste tu pelaje por iluminar a los  
nahuas...

A.R

## **AGREDECIMIENTOS**

Al Dr. Eduardo Mendoza Ramírez y la Dra. Clementina González Zaragoza por el apoyo, consejos y la oportunidad otorgada durante mi proceso de formación.

A los Dres: Rafael Hernández Guzmán, Mircea Gabriel Hidalgo Mihart y Alberto Gómez-Tagle Chávez por los consejos, la paciencia y el apoyo a lo largo de la maestría y la construcción de la tesis. Al Doctor Javier Salgado Ortiz por su apoyo durante la redacción y revisión de la tesis. A los Dres: Antonio Guerrero, Areli Rizo e Ignacio Iñiguez por su colaboración.

A mi familia (Ixchel, abuelo, Sebastián y Ale...), en especial a mi abuela Leonor y su apoyo incondicional, y mi tía Cladia por su ejemplo.

A mis amigos y compañeros, Pat, Yun, Isma, Xochil, Sara, Abdiel, Rich, Beto, Adrian, Quique, Jorge, Lupita, Samuel, Abiud, Coral, Lore, Edgar... que con cada palabra de aliento contribuyeron con este proceso, por su apoyo durante los días difíciles de depresión... Particularmente a Oscar quien me ayudo a entender mi tema de investigación con su buen humor, experiencia y observaciones.

A Blanca y Carlos por recibirme en su hogar como parte de la familia durante mi estancia de investigación.

Con especial agradecimiento a la estación de Biología Chamela, del instituto de Biología de la UNAM, y las personas de los poblados que otorgaron su tiempo, historias y respuestas durante el proceso de entrevistas.

A CONACYT por la beca (No. 622232) otorgada que me ha permitido lograr mi proceso de formación.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	4
<b>II. HIPOTESIS GENERAL</b> .....	9
<b>III. OBJETIVOS</b> .....	10
Objetivo general .....	10
Objetivos particulares:.....	10
<b>Capítulo 1. Conocimiento local sobre el marsupial endémico (<i>Tlacuatzin canescens</i>) en la región de la costa de Chamela-Cuixmala</b> .....	11
<b>1. Introducción</b> .....	12
<b>2. Metodología</b> .....	15
2.1 Zona de estudio .....	15
2.2 Especie de estudio .....	16
2.3 Aplicación de entrevistas semi-estructuradas.....	19
<b>3. Resultados</b> .....	22
3.1 Descripción de los entrevistados .....	22
3.2 Información sobre <i>T. canescens</i> derivada de las entrevistas aplicadas a los habitantes de las comunidades locales. ....	22
3.3 Registros de presencia de <i>T. canescens</i> obtenidos a partir de entrevistas .....	23
<b>5. Discusión</b> .....	25
<b>6. Referencias</b> .....	28
<b>7. Anexos</b> .....	36
<b>Capítulo 2. Análisis de la conectividad funcional entre remantes de hábitat y la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala utilizando a <i>Tlacuatzin canescens</i></b> .....	46
<b>1. Introducción</b> .....	47
<b>2. Metodología</b> .....	50
2.1 Área de estudio.....	50
2.2 Elaboración de superficie de resistencia.....	51
2.3 Selección de parches idóneos para <i>T. canescens</i> y conectividad funcional .....	55
2.4 Selección de parches idóneos para <i>T. canescens</i> y conectividad funcional .....	58

2.5	Selección de parches idóneos para <i>T. canescens</i> y conectividad funcional .....	61
2.6	Construcción del modelo de conectividad funcional.....	65
<b>3.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>66</b>
3.2	Ruta de menor costo para obtener posibles vías de dispersión .....	67
3.3	Flujo de corriente para identificar áreas potenciales para la dispersión de la especie...	68
<b>4</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>81</b>
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIÓN GENERAL</b> .....	<b>91</b>
<b>V.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>94</b>

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### Capítulo 1. Conocimiento local sobre el marsupial endémico (*Tlacuatzin canescens*) en la región de la costa de Chamela-Cuixmala

**Tabla 1.** Tipos de hábitat en los que se clasificaron las coberturas y usos del suelo presentes en el área de estudio para evaluar si existía alguna preferencia de hábitat por parte de *Tlacuatzin canescens*. ..... 21

**Figura 1.** Ubicación de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (Polígono), así como de las localidades donde se llevaron a cabo las entrevistas: Juan Gil Preciado (JGP), San Mateo (SM), Chamela (CH), Careyes (CA), Emiliano Zapara-Francisco Villa (EZ-FV) y Agua Caliente (AC), (puntos negros). Coordenadas geográficas, Datum WGS84. .... **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura 2.** *Tlacuatzin canescens* en la Región Chamela-Cuixmala registrada en mayo de 2018 (Foto: Ariana González Cejudo)..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura 3.** Observaciones de *T. canescens* realizados por los entrevistados (señalados con puntos blancos) y registros de *T. canescens* en bases de datos (señalados con puntos negros). Coordenadas aproximadas de los avistamientos en anexo B.4. Coordenadas métricas de la zona UTM 13N, Datum WGS84. .... **¡Error! Marcador no definido.**

### Capítulo 2. Análisis de la conectividad funcional entre remantes de hábitat y la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala utilizando a *Tlacuatzin canescens*

**Tabla 1.** Tipos de hábitat en los que se clasificaron las coberturas y usos del suelo presentes en el área de estudio para evaluar si existía alguna preferencia de hábitat por parte de *Tlacuatzin canescens*. ..... 21

**Figura 1.** Ubicación de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (Polígono), así como de las localidades donde se llevaron a cabo las entrevistas: Juan Gil Preciado (JGP), San Mateo (SM), Chamela (CH), Careyes (CA), Emiliano Zapara-Francisco Villa (EZ-FV) y Agua Caliente (AC), (puntos negros). Coordenadas geográficas, Datum WGS84. .... 16

**Figura 3.** Observaciones de *T. canescens* realizados por los entrevistados (señalados con puntos blancos) y registros de *T. canescens* en bases de datos (señalados con puntos negros). Coordenadas aproximadas de los avistamientos en anexo B.4. Coordenadas geograficas, Datum WGS84. .... 24



## RESUMEN

La conectividad del paisaje dentro y fuera de las áreas naturales protegidas es esencial para mantener el movimiento de la fauna silvestre y su flujo génico, sobre todo en especies con capacidades limitadas de dispersión que las vuelven más sensibles a la transformación de su entorno. Los pequeños mamíferos dependientes del estrato arbóreo y con bajas capacidades de dispersión, son organismos ideales para evaluar la conectividad funcional del paisaje a una escala local. El ratón tlacuache (*Tlacuatzin canescens*) es un marsupial endémico de México que habita en las selvas secas de la vertiente del Pacífico. En este estudio se usó para evaluar la conectividad funcional del paisaje entre la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCC) y los remantes de hábitat dispersos en su vecindario. Debido a la dificultad para ser observada en el campo y a la falta general de conocimiento ecológico sobre la especie, se realizaron entrevistas en los poblados adyacentes a la RBCC y encuestas a expertos en mamíferos para construir un modelo de conectividad funcional. Se estimó la ruta de menor costo, a partir de una matriz de resistencia del paisaje que incluyó variables como el tipo de vegetación y uso de suelo, pendiente de terreno, ubicación de vías de comunicación y ríos y arroyos. Para la elaboración de la matriz de resistencia se tomó en cuenta la opinión de expertos. A partir del modelo de conectividad funcional y el cálculo del área mínima para mantener una población viable se identificaron 38 parches de vegetación que pudieran representar hábitat idóneo (área promedio de 2,213 ha) para *T. canescens*. A partir de estos parches se identificaron 60 corredores potenciales. La distancia Euclidiana promedio entre parches fue de 244 m mientras que el promedio de la ruta del menor costo fue de 367 m. La porción de hábitat menos conectada se ubica al este del área

de estudio, donde se presenta un mosaico de remanentes de vegetación inmersos en agrosistemas. Los valores más altos de resistencia se localizan donde se concentran carreteras, ríos y zonas urbanas. De acuerdo con los estadísticos de conectividad (Índice Integral de Conectividad y la Probabilidad de Conectividad) los parches 36, 37 y 38 situados al oeste del área de estudio son los más importantes en el sistema, entre los cuales se encuentra la RBCC (~13,000 ha). Los parches adyacentes a la RBCC juegan un papel importante para mantener la conectividad de la selva seca en la región. La fragmentación de los parches de selva seca mediante el cambio de uso de suelo y la incorporación de carreteras pone en riesgo la conectividad funcional del sistema de estudio.

Palabras clave: Áreas naturales protegidas, Chamela, Conectividad funcional, Ruta de menor costo

## ABSTRACT

The connectivity of natural habitats within and outside natural protected areas is essential to maintain wildlife populations and allow gene flow, especially in the case of species with a limited dispersal capacity. Small body-sized mammals that rely on the tree canopy to move across their habitat and with low dispersal capacity are ideal to assess the functional connectivity of the landscape at a local scale. The grayish mouse opossum (*Tlacuatzin canescens*) is an endemic marsupial from Mexico that inhabits in the dry forest of the Pacific's slope. In this study, this species was used to evaluate the functional connectivity of the habitat between the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve (CCBR) and the dry forest remnants scattered in its vicinity. Due to the lack of information about the natural history and ecology of the species, a set of interviews were applied to people in the communities located in the study area. The information that was gathered together with information that was obtained from mammal experts was used to build a functional connectivity model. The least cost path was estimated from a landscape's resistance matrix that included variables like the types of vegetation and land use, terrain slope, roads and rivers locations. Thirty-eight vegetation patches of potentially suitable habitat (2,213 ha in average size) for *T. canescens* were identified based on the functional connectivity model and the calculation of the minimum area to maintain a viable population. Sixty potential corridors were identified among these patches. The average Euclidean distance between patches was about 244 m while the average of the least cost path was about 367 m. The least connected habitat was located to the east of the study area, where a mosaic of tropical dry forest remnants immersed in agrosystems occurred. The highest resistance values are located where rivers, roads, and urban zones are concentrated. According to the connectivity statistics (Integral Connectivity Index and the Probability of Connectivity) the patches 36, 37 and 38 located to the east of the area of study are the most important in the region, the CCBR (~13,000 ha) was part of one of them. The adjacent patches to the CCBR play a important role to maintain the tropical dry forest connectivity in the region but land cover changes and the development of roads puts in risk this connectivity.

## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La pérdida del hábitat a consecuencia de las actividades antrópicas, constituye una de las amenazas más importantes para la supervivencia de muchas especies en el mundo (Harris, 1984; Miles et al., 2006). Este proceso aísla progresivamente los remanentes de hábitat y modifica la conectividad del paisaje, teniendo efectos directos sobre la viabilidad de las poblaciones, afectando a largo plazo la biodiversidad y los procesos funcionales del ecosistema (Mendoza & Dirzo 2007; Garmendia et al., 2013; Correa-Ayram et al., 2017). En términos generales, la conectividad puede abordarse desde dos enfoques: estructural y funcional (Taylor et al., 2006). El primero hace referencia a la continuidad de los elementos del paisaje; y el segundo incorpora la capacidad de dispersión de los organismos y la perspectiva que estos tienen de su entorno (With et al., 1997; Robichaux y Yetman, 2000; Tischendorf & Fahrig, 2000). La conectividad funcional se relaciona entonces con la capacidad de los organismos de desplazarse por espacios con condiciones “inadecuadas”, es decir, el costo físico que representa para los individuos moverse entre los remanentes de hábitat dadas las características de la matriz que los rodea (Moilanen & Hanski, 2001; Adriaensen, 2003; Shah & McRae 2008).

La deforestación es uno de los procesos antropogénicos más importantes de la crisis ambiental global que amenaza la biodiversidad. Se estima que la tasa de cambio anual de los bosques del mundo es  $-0.13\%$  (FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - 2016). En México se presentan altas tasas de deforestación:  $1.3\%$  durante el período 1981–1985 (FAO 1988), y  $1.1\%$  en la década 1990–2000 (FAO 2001), ha sido clasificado como el noveno país con la mayor cantidad de área forestal perdida (FAO2006). Las fuentes de estimación de las tasas de deforestación varían entre el

0.51% y 10% según la región del país (Velázquez et al., 2002; Mas et al., 2004). A finales de la década de 1990 la tasas de deforestación crecientes en los trópicos han disminuido, de 9 millones de ha por año a 7 y 6 millones de ha al año (MaDicken et al., 2015). Las evaluaciones regionales en México han proporcionado estimaciones de las tasas de deforestación para diferentes tipos de vegetación. Por ejemplo, entre  $-1.0\%$  y  $-10.4\%$  para selva seca,  $-4.2\%$  y  $-8.7\%$  para bosque tropical de hoja perenne,  $-1.8\%$  y  $-3.4\%$  para bosques templados, y aproximadamente  $-10\%$  para tipos de vegetación restringida como el bosque nuboso y bosques de *Juniperus* (Mas et. al., 2009).

La selva seca posee una alta biodiversidad y endemismo, y es uno de los más amenazados (Janzen, 1988; Bullock et al., 1995). Sin embargo, pese a su importancia ecológica se ha destinado poca atención a su conservación (Mooney et al., 1995). México es el país con la mayor extensión de selva seca en América, 181,461 km<sup>2</sup> (38%) del total (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa 2010). Así mismo, dentro de México, la selva seca tiene la mayor extensión entre las selvas tropicales (Dirzo & Ceballos 2010), que ocupan alrededor del 8% del total del país (Trejo & Dirzo 2000). A escala nacional el 30% de su extensión original se considera bajo buenas condiciones de conservación, es decir, buena composición y tamaños de árboles estructuralmente reconocidos (Trejo, 2010). Como estrategia de conservación se ha implementado la protección de ambientes naturales que no han sido significativamente alterados por la actividad humana mediante la declaración de áreas naturales protegidas (ANP; Ceballos et al., 2007; CONANP 2012). Sin embargo la selva seca es uno de los ecosistemas menos representado en las ANP del país, a finales del siglo XX menos del 1% de la extensión de la selva estaba dentro de una ANP (Ordoñez & Flores, 1995). Existen pocas estimaciones de tasas de deforestación de la selva seca en

México, entre estas una tasa -1,4% de tasa anual de cambio en el año 2000 para el estado de Morelos (Trejo y Dirzo, 2000) y una pérdida de más del 9% de selva seca primaria entre 1993 y 2011, según los datos proporcionado por las agencias gubernamentales mexicanas a la FAO (2015).

La Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCC) fue declarada como ANP en 1993 para preservar principalmente la selva seca (Ceballos et al., 1999). Es una de las ANP mejor estudiadas del país, gracias a los esfuerzos realizados por el Instituto de Biología de la UNAM que desde 1970 ha fomentado la investigación en esta área (Miranda, 2002). Desde el decreto de la RBCC como ANP, se han registrado 72 especies de mamíferos, de los cuales 18 son endémicas de México (60% de los géneros de mamíferos endémicos de México) y al menos 22 (31%) son vulnerables, amenazadas o en peligro de extinción, y tienen distribución limitada a este ecosistema (Ceballos & Miranda, 2000). Pese a que la RBCC se considera en buenas condiciones de conservación dentro de la Región Chamela-Cuixmala en el área circundante a la RBCC se desarrollan actividades económicas (cultivos, ganadería y turismo) que modifican la conectividad de la selva con los remanentes de este hábitat a su alrededor mediante un proceso de transformación por las actividades agropecuarias, que inicia con la técnica de roza, tumba y quema, tras la cual se implementa un pastoreo intensivo (De Ita-Martínez, 1983; Gutiérrez, 1993; Challenger, 1998). Esta transformación creciente de los ecosistemas circundantes amenaza las condiciones de conservación, la biodiversidad de la región y la conectividad del paisaje (Laurance et al., 2012). Existen pocos estudios que documentan el proceso de deforestación, según Miranda (1998) se estimaron entre  $-0.78\%$  y  $-2.4\%$  tasas de deforestación anual promedio para la costa de Jalisco en diferentes períodos de tiempo

entre 1973 y 1992. Se reconoce que en la selva seca del Pacífico se encuentra el mayor endemismo (~60% de plantas vasculares y ~30% vertebrados terrestres) a escala nacional (Ceballos & García, 1995; Lott & Atkinson, 2002; Ceballos et al., 2010). En algunos casos, la riqueza de especies de la selva seca es comparable e incluso mayor que en algunos bosques tropicales húmedos (Trejo & Dirzo 2002). Por lo tanto, es de carácter urgente analizar el estado de las selvas secas remanentes y detener su transformación antrópica (Gentry, 1995; Janzen, 1988; Murphy & Lugo, 1995). Además de su relevancia por el alto contenido de flora y fauna endémica, la selva seca posee una alta diversidad de mamíferos (34% del total nacional; Ceballos y García, 1995)

La mayoría de las especies de mamíferos endémicos de la selva seca se caracterizan por tener tamaño corporal pequeño, ámbito de distribución limitado, alimentación herbívora y periodos generacionales cortos. Muchas especies de mamíferos utilizan la selva seca durante las lluvias por la disponibilidad de alimento, lo que permite que las poblaciones de mamíferos puedan mantenerse y cumplir con sus funciones ecológicas, tales como la polinización, dispersión de semillas, depredación y control de plagas (Janzen, 1982a, b). Este estudio evalúa la conectividad funcional basándose en la ruta del menor costo basada en la Teoría de grafos la cual mide las distancias efectivas entre parches y permite estimar una ruta óptima de desplazamiento (Adriaensen et al., 2003) y mediante el concepto de flujo de corriente derivado de la Teoría de circuitos que permite identificar y priorizar áreas importantes para la conectividad (Shah & McRae 2008). Mediante lo cual es posible ubicar áreas prioritarias para la conservación y proponer corredores biológicos locales para pequeños mamíferos de comportamiento especialista. Se seleccionó como especie a *Tlacuatzin canescens*, marsupial endémico de México, cuyas características arborícolas y

su asociación con la selva seca permiten suponer que requiere del hábitat de selva seca para su persistencia. Adicionalmente, se obtuvo conocimiento de la especie focal a través de la aplicación de entrevistas a pobladores locales, información que fue incorporada al modelo de conectividad funcional. Este enfoque proporciona información que puede fortalecer los criterios para la toma de decisiones para la conservación de un ecosistema tan amenazado como las selvas secas (Meijaard et al., 2011).

## II. HIPOTESIS GENERAL

El mamífero pequeño endémico *Tlacuatzin canescens* tiene características ecológicas (particularmente una dependencia de vegetación arbórea para su desplazamiento), que pueden limitar notoriamente su desplazamiento en áreas donde el hábitat de selva seca ha sido transformado a cubiertas vegetales más abiertas (por ejemplo potreros). Dada la marcada pérdida de selva seca que ha ocurrido al suroeste de la costa de Jalisco, la conectividad funcional del paisaje entre la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala y gran parte de los fragmentos remanentes de selva seca debe de estar restringida para especies como *T. canescens*.

### III. OBJETIVOS

#### Objetivo general

Analizar el grado de conectividad del hábitat que existe entre la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCC) y los remanentes de vegetación a su alrededor usando a *Tlacuatzin canescens*.

#### Objetivos particulares:

- Explorar el conocimiento que la gente local tienen sobre aspectos relacionados con la ecología de *Tlacuatzin canescens* para inferir los hábitos de la especie.
- Generar una base de datos de registros de presencia de *Tlacuatzin canescens*, a partir de datos proporcionados por la gente de las comunidades en el área de estudio.
- Identificar sitios prioritarios para conservar la conectividad funcional del paisaje entre la RBCC y el hábitat remanente en su vecindad, como base para propuesta para corredores biológicos.

# **Capítulo 1. Conocimiento local sobre el marsupial endémico (*Tlacuatzin canescens*) en la región de la costa de Chamela-Cuixmala**

## 1. Introducción

El conocimiento que la gente adquiere de su entorno a través del desarrollo de sus actividades diarias es una valiosa fuente de información sobre la biodiversidad y los recursos de los cuales dependen (Alcocer, 1998; Salazar, 2006; Arroyo-Chacón et al., 2013). La sociedad y la naturaleza están particularmente vinculadas en comunidades cuyas actividades llevan a la gente a estar dentro o muy cerca de ecosistemas naturales. En las comunidades rurales el conocimiento de su entorno le permite a la gente mejorar la toma de decisiones, como por ejemplo al elegir cultivos o aprovechar la vida silvestre. De esta manera, a lo largo de su vida la gente de las comunidades rurales puede alcanzar un elevado nivel de conocimiento sobre distintos aspectos de su entorno natural con los que se relaciona, incluyendo la fauna silvestre (Pan et al., 2015; Nash et al., 2016; Brittain et al., 2018).

Para los científicos, la información sobre los patrones de distribución de las especies y los aspectos básicos de su ecología es fundamental para conocer sus requerimientos de hábitat y sustentar programas de manejo y conservación. Sin embargo, la obtención de este tipo de información muchas veces requiere de realizar trabajo en el campo en condiciones precarias en términos del acceso y seguridad. Esto aunado al hecho que algunas especies, por sus hábitos evasivos o baja abundancia, son muy difíciles de observar en el campo, hace que aún en estos tiempos cuando la influencia de las actividades humanas ha alcanzado prácticamente todos los rincones de la Tierra persista un desconocimiento de los patrones de distribución de una gran cantidad de especies. Este desconocimiento es particularmente grave a la luz de las altas tasas de deforestación que abren la posibilidad de que se pierda una proporción considerable de la biodiversidad sin que se llegue a conocer

información básica sobre su ecología (Harris, 1984; Janzen, 1988; Miles et al., 2006; Hobbs et al., 2006; Marshall et al., 2006).

Dadas estas circunstancias, el recurrir al conocimiento de la gente que habita en las zonas rurales es una alternativa valiosa y viable para adquirir conocimiento sobre la fauna silvestre de forma más expedita (De Albuquerque & De Albuquerque, 2005). Este enfoque puede ser particularmente efectivo cuando se busca recopilar conocimiento de especies poco estudiadas, pero fácilmente reconocibles (Meijaard et al., 2011). Cada vez son más los casos donde la gente local es participante activa de programas de monitoreo comunitario, ciencia ciudadana y pagos por servicios ambientales (Brittain et al., 2018).

Existen diversas técnicas que permiten obtener información de las comunidades rurales, una de ellas es la propuesta por Newing (2010), quienes sugieren el uso de las entrevistas semi-estructuradas para realizar una exploración cualitativa cuando existe poco conocimiento sobre la especie. Las entrevistas semi-estructuradas funcionan como guía para asegurarse que se respondan todas las interrogantes de interés y fomentan un intercambio entre el entrevistador y el entrevistado ya que van tomando un rumbo dependiendo de los temas que surjan, favoreciendo de esta manera la fluidez y comunicación (Newing, 2010)

Para este estudio se ha seleccionado al ratón tlacuache (*Tlacuatzin canescens*). Este marsupial endémico se distribuye en la vertiente del Pacífico y en la península de Yucatán (Voss & Jansa, 2003). Por sus hábitos alimenticios colabora con el control de insectos (Ceballos & Miranda, 2000), dispersión de semillas (Núñez-Garduño, 2005) y la polinización de cactáceas (Ibarra-Cerdeña et. al., 2007). Está clasificada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) en la Lista Roja de Especies Amenazadas (2015) como de preocupación menor de conservación y no está listada en la

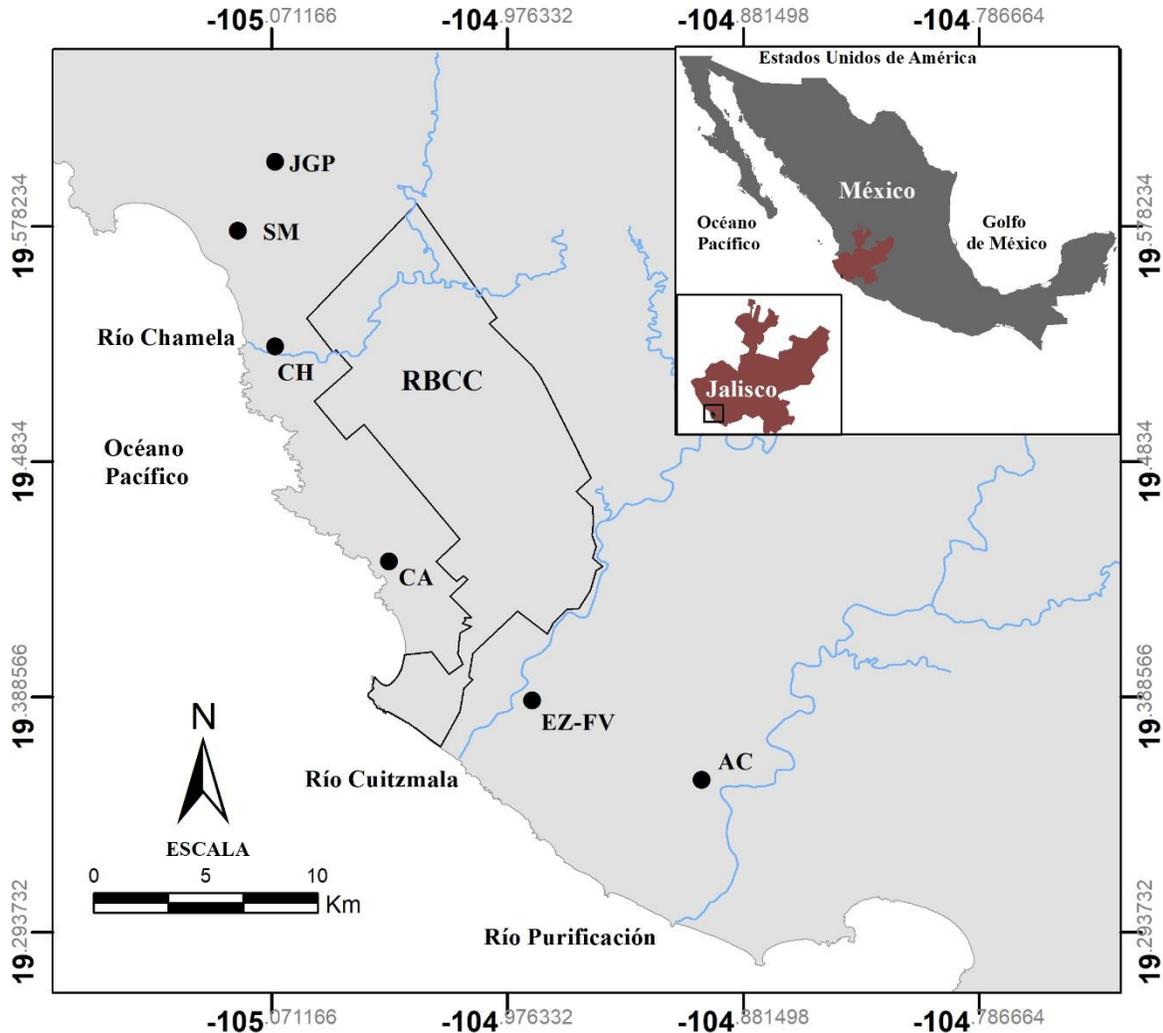
NOM 059, SEMARNAT-2010 (Denisse, 2010). Sin embargo, es importante señalar que el ámbito de distribución de la especie se encuentra en gran medida dentro de una región de gran riesgo potencial (Shi et al., 2005).

Este estudio tiene como objetivo compilar y analizar el conocimiento que los pobladores tienen sobre aspectos básicos de la ecología del *T. canescens* en las localidades aledañas a la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCC), en la costa de Jalisco.

## 2. Metodología

### 2.1 Zona de estudio

El estudio se realizó en siete localidades: Juan Gil Preciado, San Mateo, Chamela, Careyes, Emiliano Zapara, Francisco Villa y Agua Caliente, ubicadas en la región Chamela-Cuixmala, dentro del municipio La Huerta en la porción sur de la costa de Jalisco (Figura 1). El clima en esta región es cálido subhúmedo, la temperatura promedio anual es de 22.1° C y la máxima promedio es de 30° C. La precipitación anual en promedio es de 1,144 mm, y se concentra (80%) entre junio y octubre (INEGI, 2000). La zona se encuentra mayormente cubierta por selva seca y extensas áreas de agro-ecosistemas y pastizales (Hernández-Guzmán et al., 2019). Dentro del área de estudio se localiza la RBCC. La RBCC ocupa un área de 13,142 hectáreas (Ceballos & Miranda, 2000) y pertenece a la región terrestre prioritaria No. 63, Chamela-Cabo Corrientes (Arriaga et al., 2000). Los ejidos que rodean a la reserva han sido severamente transformados a consecuencia de la deforestación para desarrollar actividades agrícolas y ganaderas (García-Oliva et al., 1994). Se estima que en la costa de Jalisco se ha perdido cerca de una cuarta parte de la cobertura de selva seca a consecuencia del cambio de uso de suelo para actividades agropecuarias y turísticas (Miranda, 1996). Alrededor del 40% del hábitat potencialmente utilizable por *T. canescens* se ha visto transformado como consecuencia de la deforestación (Sánchez-Azofeifa et al., 2005; Sánchez-Cordero et al., 2005).



**Figura 1.** Ubicación de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (Polígono), así como de las localidades donde se llevaron a cabo las entrevistas: Juan Gil Preciado (JGP), San Mateo (SM), Chamela (CH), Careyes (CA), Emiliano Zapara-Francisco Villa (EZ-FV) y Agua Caliente (AC), (puntos negros). Coordenadas geográficas, Datum WGS84.

## 2.2 Especie de estudio

*Tlacuatzin canescens* (sin. *Marmosa canescens*, J.A. Allen, 1893) es un marsupial endémico de México que pertenece a la familia Didelphidae. La taxonomía de la especie ha experimentado cambios y es actualmente la única especie del género (Voss & Jansa 2003; Vos & Jansa 2009; Ramírez-Pulido et al., 2014). Sin embargo, recientemente Arcangeli et al., (2018) propusieron el reconocimiento de *T. canescens*, *T. gaumeri*, *T. insularis* y *T. sinaloae* como especies válidas y sugirieron un nuevo linaje (*T. balsasensis*) según estudios

morfológicos y genéticos. Además, respaldaron el reconocimiento del género *Tlacuatzin* bien diferenciado de *Marmosa* y *Monodelphis*.

El ratón tlacuache gris o tlacuachín presenta un característico anillo ocular de color oscuro así como pelaje dorsal gris o pardo grisáceo (Figura 2). Su longitud total (desde la punta del rostro hasta la punta de la cola vertebral) varía entre 260 y 310 mm y pesa entre 20 a 60 g (Zarza et al., 2003). Es activo durante la noche mientras que en el día se esconde dentro de árboles y arbustos donde construye sus nidos (Ceballos & Miranda, 1986; Zarza et. al., 2003). Es una especie con hábitos semiarborícolas y un desplazamiento ágil y rápido en ramas contrastante con un desplazamiento limitado sobre el suelo (Ceballos, 1990; Zarza et. al., 2003). En un estudio reciente realizado en selva seca en el estado de Colima 85.7% de las capturas se realizaron en trampas sherman colocadas en las ramas de arbustos y árboles (Kennedy, 2013).



**Figura 2.** *Tlacuatzin canescens* en la Región Chamela-Cuixmala registrada en mayo de 2018 (Foto: Ariana González Cejudo).

La especie obtiene su alimento en el estrato arbóreo, es omnívora y puede colaborar en el control de plagas, pues consume chinches (Hemiptera), cucarachas y mantis

(Orthoptera), polillas (Lepidoptera) y escarabajos y cerambícidos (Coleoptera; Ceballos & Miranda, 2000; Collins, 1973). Además, consume vertebrados pequeños (geckos y aves), huevos de aves (Ceballos, 1989, Reid, 1997) así como higos, plátanos, cocos, chiles y naranjas (Ceballos & Miranda, 2000). Incluso consume frutos de cactus (Reid, 2009; Astúa, 2015) y es probable que sea dispersor de sus semillas (Núñez-Garduño, 2005). Así mismo, se ha propuesto que el talcuachín puede actuar como polinizador del pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) (Ibarra-Cerdeña et. al., 2007).

Los depredados del talcuachín incluyen a zorras, coatís, lechuzas, búhos y serpientes (Lopez Formant & Urbano, 1977). Los individuos de esta especie anidan principalmente en huecos de árboles y cactus, así como en nidos colgantes abandonados de aves en donde se aparean y reproducen al parecer a lo largo de todo el año (Wilson 1991, Kennedy et. al., 2013, Astúa, 2015). Las hembras carecen de marsupio y pueden presentar hasta 15 mamas (Ceballos & Miranda, 1986). Sus camadas son de hasta 14 crías, nacen en estado embrionario y después de destetar se sujetan del dorso de la madre (Ceballos 1989; 1990). En la RBCC se han encontrado hembras preñadas en los meses de julio y septiembre y juveniles en los meses de febrero y julio. Se conoce poco sobre la capacidad de dispersión de esta especie. De acuerdo con Ceballos (1989, 1990) en la RBCC, los individuos de esta especie se mueven en promedio 35.2 m (sin ninguna medida de variación asociada) entre capturas sucesivas, siendo la distancia más grande registrada entre recapturas de 72 m. En otros marsupiales del género *Marmosa* en Sudamérica (*M. paulensis* y *M. incanus*) se han estimado ámbitos hogareños de 0.12 a 0.75 hectáreas y 0.1 a 0.5 hectáreas, respectivamente (Viera, 1999; Leiner, 2007).

*T. canescens* se distribuye desde el nivel de mar hasta una altitud de 2300 m, a lo largo del Pacífico desde Sonora hasta Chiapas, a lo largo del río Balsas y la península de

Yucatán (Voss & Jansa 2009; González-Christen & Rodríguez 2014). Habita en el bosque tropical caducifolio (o selva seca) y subcaducifolio, bosque espinoso, matorral xerófilo, manglares, vegetación perturbada y cultivos (Zarza et al., 2003). De acuerdo a un estudio realizado en Colima la abundancia de *T. canescens* es de 0.7 – 8.0 ind/ha (Kennedy et al., 2013). Por otra parte, en la RBCC se considera a *T. canescens* como una especie de mamífero abundante (Ceballos 1989; 1990) ya que se estima que su densidad es de 0.4 a 4.5 ind./ha. Existe poca información con respecto a su demografía o el tamaño de sus poblaciones, la especie no figura en la Norma Oficial Mexicana 059 (2010), y está clasificada como de Preocupación menor por la Lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2015). No obstante, en las Islas Marías, Wilson (1991) encontró que ha disminuido su presencia y sugirió que probablemente se debe a la introducción de *Rattus rattus*.

### 2.3 Aplicación de entrevistas semi-estructuradas

Las entrevistas se realizaron en las poblaciones de Juan Gil Preciado, San Mateo, Chamela, Careyes, Emiliano Zapara, Francisco Villa y Agua Caliente, del 8 al 23 de marzo del 2018 y del 26 al 29 de mayo del 2018. Se aplicaron entrevistas semi-estructuradas (Anexo A.1) consistentes en 16 preguntas abiertas y cerradas, cuyo orden se determinó de acuerdo con el desarrollo de la entrevista permitiendo que el entrevistado pudiera compartir ideas e información que consideraba relevantes (Sierra, 1995; Newing et al., 2010). Se registraron datos socioeconómicos del entrevistado e información de la especie. La sección sobre el conocimiento de la especie se enfocó en obtener información sobre su preferencia de hábitats, respuesta a la presencia humana, así como registrar puntos de observaciones de la especie dentro del área de estudio.

Inicialmente, los entrevistados fueron abordados en las calles o en sus domicilios. Con previa autorización se procedió a aplicar la entrevista que comenzó con la presentación del equipo de trabajo y su procedencia institucional, así como una breve explicación sobre el proyecto. Se utilizó el método “bola de nieve” que permite utilizar a los entrevistados para contactar a otras personas que pudieran aportar información relevante (Sánchez, 2001; Newing et al., 2010).

El cuestionario comenzó con la sección de la especie (Anexo A.1). A cada persona entrevistada se le mostró una serie de fotografías de la especie focal y otros pequeños mamíferos (roedores y tlacuache; Anexo A.2.1) para confirmar si el entrevistado la reconocía. Esta técnica se ha probado en otros estudios con la finalidad de evaluar la capacidad del entrevistado para identificar a la especie de interés (Tinoco et al., 2016). Adicionalmente, a los entrevistados se les preguntó el peso y tamaño aproximado de la especie, ya sea proporcionando una cantidad o pidiendo que lo compararan con otro animal así como datos sobre el comportamiento de la especie, para corroborar que el entrevistado no la estuviera confundiendo con otra especie. Posteriormente, se permitió que el entrevistado contara anécdotas relacionadas con la especie u otros organismos con la finalidad de obtener la mayor cantidad de conocimiento adicional.

Finalmente, se pidió al entrevistado marcar en imágenes satelitales de Google Earth Pro © (Anexo A.2.2) la ubicación de los avistamientos de la especie que hubiera realizado y cualquier dato de referencia, como por ejemplo nombres de ranchos, de sitios a lo largo de ríos, kilómetros sobre alguna carretera o algún otro lugar reconocido como referencia para obtener las coordenadas aproximadas.

Los registros de los lugares de observación de la especie, obtenidos mediante las entrevistas, se clasificaron de acuerdo al uso de suelo y tipo de vegetación en donde se

presentaron (Tabla 1). Con estos datos se realizaron pruebas de Ji-cuadrada para evaluar si existía independencia entre la cantidad de registros por tipo de hábitat. Se consideró únicamente una respuesta por entrevistado (correspondiente a la que el entrevistado consideró más relevante).

**Tabla 1.** Tipos de hábitat en los que se clasificaron las coberturas y usos del suelo presentes en el área de estudio para evaluar si existía alguna preferencia de hábitat por parte de *Tlacuatzin canescens*.

Categorías	Tipos de cobertura o uso del suelo
Arroyo	Vegetación cerca de ríos y otros medios acuáticos (manglar, lagunas, isla)
Cultivo	Áreas de explotación agrícola
Rural	Corresponde a los asentamientos humanos en el campo
Selva	Se clasifica en selva seca por ser el tipo de vegetación dominante del área de estudio

### 3. Resultados

#### 3.1 Descripción de los entrevistados

Se realizaron en total 104 entrevistas a 55 a hombres y 49 a mujeres (Anexo B.1). La edad de los entrevistados varió entre 17 y 90 años, de los cuales el 55.8% fueron adultos con una edad entre 25 y 59 años. Las mujeres entrevistadas fueron principalmente amas de casa (37.5%), y los hombres campesinos (10.3%). El 74.1% de los entrevistados procedía del estado de Jalisco.

#### 3.2 Información sobre *T. canescens* derivada de las entrevistas aplicadas a los habitantes de las comunidades locales.

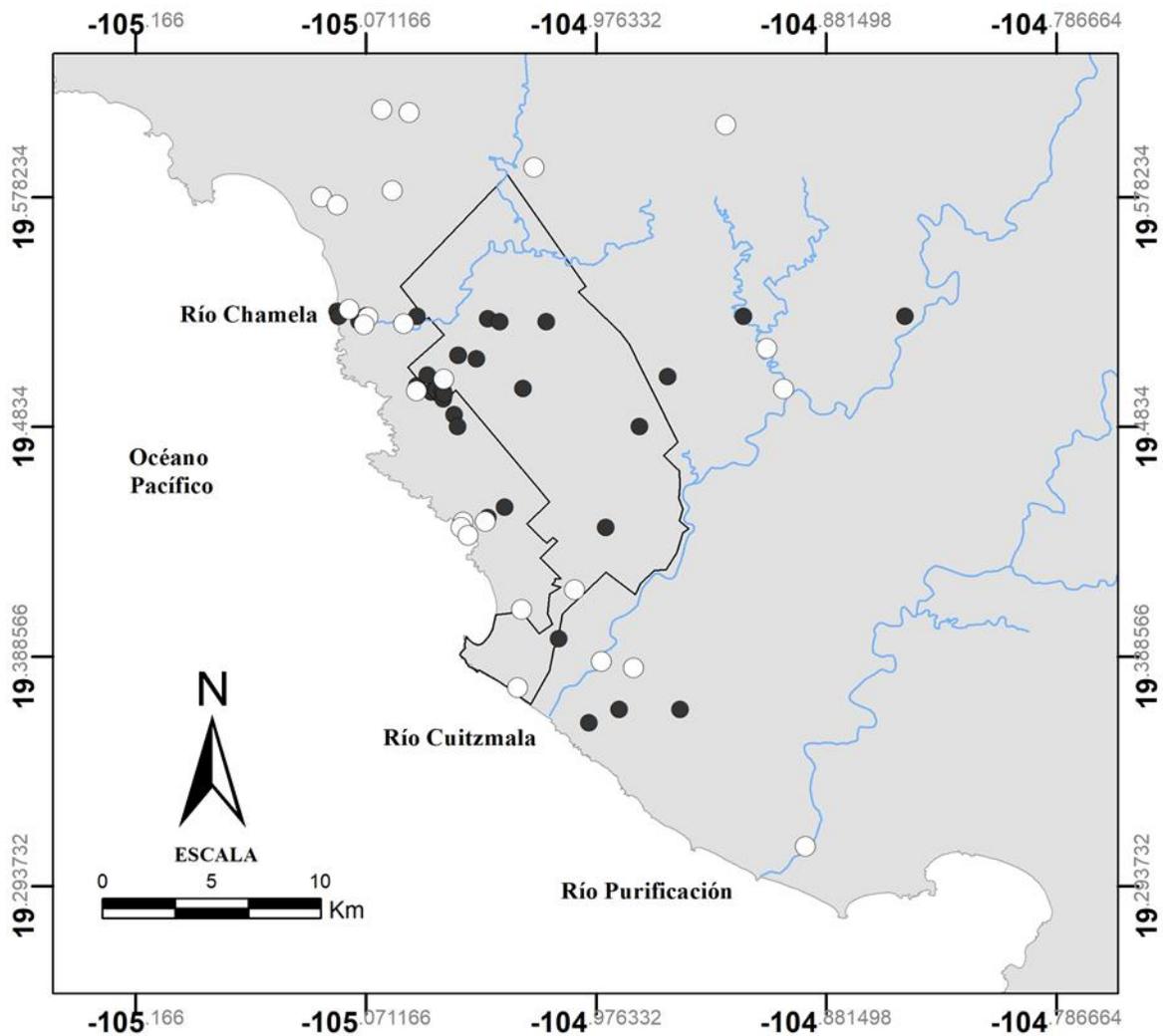
De las 104 personas entrevistadas, el 41% reconoció a *T. canescens* (Anexo B. 2). El 68 % de los entrevistados considera que es un organismo inofensivo y el 10% considera que está en peligro. El 8% de los entrevistados contestó que la ha tenido como mascotas y el 3 % considera que son controladores de plagas. El 95 % opina que no es necesario hacer algo para controlar su abundancia.

Por otra parte, el 30% de los encuestados piensa que *T. canescens* se alimenta de frutos y el 25% mencionó a los insectos como alimento de esta especie. El 59% de las personas reporta que ha observado a *T. canescens* escondida en nidos esféricos (35%), huecos de árboles (24%), en las hojas que envuelven las mazorcas de maíz (13%) y en hojarasca (10%). El 41% de las observaciones han sido en el bosque/monte y el 63% opina que no es posible observarlos en el patio de las casas. La mayoría de los entrevistados llevan años sin observar a *T. canescens* (75%), y otros lo han observado una sola vez (23%). Adicionalmente se obtuvieron comentarios que surgieron a partir de las preguntas del cuestionario, los cuales permiten obtener una visión más amplia de la percepción y

conocimiento del entrevistado (Anexo B.3). Los cálculos del análisis preferencial de hábitat indican que la especie parece tener preferencia por la selva seca ( $\chi^2 = 757.6$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0.0001$ ).

### 3.3 Registros de presencia de *T. canescens* obtenidos a partir de entrevistas

Se obtuvo información sobre 25 observaciones de *T. canescens* realizadas por los entrevistados (Figura 3; Anexo B.4). La especie fue observada cerca de ríos y lagunas, en vegetación a las orillas de las localidades y carreteras, en jardines de hoteles y casas, y en los terrenos de la Fundación Cuixmala y la RBCC de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y de la Universidad de Guadalajara (UDG).



**Figura 2.** Observaciones de *T. canescens* realizados por los entrevistados (señalados con puntos blancos) y registros de *T. canescens* en bases de datos (señalados con puntos negros). Coordenadas aproximadas de los avistamientos en anexo B.4. Coordenadas geograficas, Datum WGS84.

## 5. Discusión

Gracias a que buena parte de los entrevistados reconocieron a la especie, fue posible obtener información valiosa sobre aspectos de su ecología. Previamente, otro estudio realizado en el Parque Nacional El Tepozteco, Morelos, México (García-Flores et. al., 2015), había documentando que los pobladores locales reconocen a *T. canescens*, pero no aportó ningún otro tipo de información adicional sobre la especie. Por lo tanto, este estudio es el primero en registrar el conocimiento que los pobladores locales tienen sobre *T. canescens*, además de inferir a través de la opinión de los habitantes la preferencia de hábitat de la especie.

Los entrevistados coincidieron en señalar que la especie puede estar presente en sitios de selva seca, manglar y con algún nivel de antropización, lo que concuerda con lo reportado por Ceballos y Miranda (2000) y Zarza et. al. (2003). Según las observaciones de los entrevistados, la especie es tolerante a la presencia humana, siendo capaz de utilizar áreas cerca de carreteras y de viviendas, pero la mayoría de los entrevistados opina que su hábitat preferido es la selva seca y lugares con buen nivel de conservación. Es probable que la reducción y fragmentación de su hábitat natural orille a la especie a explorar otros tipos de coberturas y usos de suelo en la búsqueda de alimento y refugio. Nuestros resultados apoyan que la especie tiene una preferencia por la selva seca lo que puede estar relacionado con el hecho de que ofrezca mayores posibilidades de encontrar refugios y mayor variedad de alimento para la especie (Kennedy et. al., 2013).

Además de aspectos básicos de la ecología de la especie, la información obtenida de los entrevistados permitió conocer aspectos relevantes respecto a su estado de conservación, como fueron los comentarios sobre que la presencia de la especie ha disminuido tras los huracanes recientes (Jova en el 2011 y Patricia en el 2015). Esto

coincide con lo reportado para otros mamíferos pequeños (roedores y murciélagos) en la RBCC, después de esos mismos huracanes (Tapia-Palacios et al., 2018). Según De Graff y Miller (1996), los mamíferos pequeños que se alimentan de frutos y semillas son los más afectados por los huracanes. A pesar de que oficialmente la especie no se registra como amenazada, algunos entrevistados consideran que la especie se encuentra en peligro, particularmente a partir del uso de químicos en la agricultura y el cambio de la actividad agrícola a la ganadería. Por otra parte, es interesante el hecho que la mayoría de los entrevistados consideran a *T. canescens* como inofensiva, y la distinguen de otros mamíferos pequeños como los ratones y ratas, comentando que no son “dañeros”, es decir, no afectan de ninguna forma a sus viviendas y salud, y lo han capturado y conservado como mascotas. Inclusive consideran que juega un papel importante en el control de plagas. Esta opinión sobre la especie puede favorecer la implementación de campañas para su protección.

Algunos estudios han mostrado la utilidad de la información obtenida a partir de entrevistas para el diseño de corredores biológicos para mamíferos (Zeller et al., 2011; Meijaard et al., 2011) y para implementar metodologías como el análisis de ocupación (Briones-Salas et al., 2012; Turvey et al., 2015; Brittain et al., 2018). En este caso las entrevistas permitieron realizar una evaluación rápida y útil que puede ser un primer paso para fortalecer la toma de decisiones para implementar planes de conservación para *T. canescens*. Un aspecto donde esto es particularmente evidente es cuando se compara la cantidad de puntos georreferenciados de presencia de la especie que fue posible obtener a partir de observaciones de la gente vs. los registros disponibles previamente en bases de datos en línea (CONABIO 2019; GBIF 2019; IBUNAM, 2019; Anexo C.1). Si bien las entrevistas se han utilizado más para obtener información sobre especies carismáticas y de

tamaño grande, nuestro estudios muestra que es posible también obtener información valiosa de especies menos llamativas pero que poseen rasgos que facilitan su indentificación por parte de la gente local. De esta manera esta metodología se confirma como una herramientas de gran valor para que los biólogos de la conservación puedan recabar información sobre la biodiversidad y su grado de amenaza.

## 6. Referencias

- Alcocer, M. (1998). Investigación acción participativa. Pp. 433–463. En: Galindo, C.J. (coord.). Técnicas de Investigación en sociedad, cultura y comunicación. Pearson & Addison Wesley Longman. México.
- Allen, J. A., & Buller, A. C. (1893). Description of a new species of opossum from the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. Bulletin of the AMNH; v. 5, article 14.
- Arcangeli, J., Light, J. E., & Cervantes, F. A. (2018). Molecular and morphological evidence of the diversification in the gray mouse opossum, *Tlacuatzin canescens* (Didelphimorphia), with description of a new species. Journal of Mammalogy, 99(1), 138-158.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coord.). (2000). Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Arroyo Chacón, E., Riechers Pérez, A., Naranjo, E. J., & Rivera-Velázquez, G. (2013). Riqueza, abundancia y diversidad de mamíferos silvestres entre hábitats en el Parque Nacional Cañón del Sumidero, Chiapas, México. Therya, 4(3), 647-676.
- Astúa, D. (2015). Order Didelphimorphia. In D. Wilson & R. Mittermeier (Eds.), Hand book of the mammals of the world (Vol.5.Monotremes and marsupials, pp. 70–187). Barcelona: Lynx Editions.
- Briones-Salas, M., Lavariega, M. C., & Lira-Torres, I. (2012). Distribución actual y potencial del jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México. Revista mexicana de biodiversidad, 83(1), 246-257.
- Brittain, S., Bata, M. N., De Ornellas, P., Milner-Gulland, E. J., & Rowcliffe, M. (2018). Combining local knowledge and occupancy analysis for a rapid assessment of the forest elephant *Loxodonta cyclotis* in Cameroon's timber production forests. Oryx , 1-11.
- Ceballos, G. (1989). Population and community ecology of small mammals from tropical deciduous and arroyo forests in western Mexico. Ph.D. dissertation, University of Arizona, Tucson, 158 pp.
- Ceballos, G. (1990). Comparative natural history of small mammals from tropical forests in western Mexico. Journal of Mammalogy, 71(2), 263-266.

- Ceballos, G. (1990). Comparative natural history of small mammals from tropical forests in western Mexico. *Journal of Mammalogy* 71(2), 263-266.
- Ceballos, G., & Miranda, A. (1986). *Los Mamíferos de Chamela, Jalisco: manual de campo* (No. 599.0972 C4)
- Ceballos, G., & Miranda, A. (2000). *Guía de los mamíferos de la Costa de Jalisco, México*. Fundación Ecológica de Cuixmala, A.C., Instituto de Biología, Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México, 2, 377-413.
- Ceballos, G., S. Blanco, C. González, E. Martínez. (2006). *Tlacuatzin canescens* (Tlacuachín). México. Portal CONABIO. Recuperado de [http://geoportal.conabio.gob.mx/#!l=mamiferos, tla\\_canegw:1@m=mixto](http://geoportal.conabio.gob.mx/#!l=mamiferos, tla_canegw:1@m=mixto)
- Collins, L. R. (1973). *Monotremes and marsupials. A reference for zoological institutions*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- De Albuquerque, C. A., & de Albuquerque, U. P. (2005). Local perceptions towards biological conservation in the community of Vila Velha, Pernambuco, Brazil. *Interciencia*, 30(8), 460-465,
- De Graaf, R. M., & Miller, R. I. (1996). The importance of disturbance and land-use history in New England: implications for forested landscapes and wildlife conservation. In *Conservation of faunal diversity in forested landscapes* (pp. 3-35). Springer, Dordrecht..
- Denisse, S. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010: Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo
- Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens* (J. A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección de Foto Colectas Biológicas (CFB). En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CFB:2916>.
- Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens* (J.A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección Nacional de Mamíferos (CNMA), Estación

de Biología Chamela. En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:-CH107>.

Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens* (J.A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección Nacional de Mamíferos (CNMA), Estación de Biología Chamela. En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:-CH144>.

Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens* (J.A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección Nacional de Mamíferos (CNMA), Estación de Biología Chamela. En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:-CH2>.

Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens* (J.A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección Nacional de Mamíferos (CNMA), Estación de Biología Chamela. En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:-CH3>.

Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens* (J.A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección Nacional de Mamíferos (CNMA), Estación de Biología Chamela. En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:-CH4>.

Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens canescens* (J. A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección Nacional de Mamíferos (CNMA). En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:45132>.

Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens canescens* (J. A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección Nacional de Mamíferos (CNMA). En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad

Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:45133>.

Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens* canescens (J. A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección Nacional de Mamíferos (CNMA). En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:45134>.

Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens* canescens (J. A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección Nacional de Mamíferos (CNMA). En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:45135>.

Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Tlacuatzin canescens* canescens (J. A. Allen, 1893), ejemplar de: Colección Nacional de Mamíferos (CNMA). En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:46486>.

García-Flores, A., Lozano-García, M. A., Ortiz-Villaseñor, A. L., & Monroy-Martínez, R. (2015). Uso de mamíferos silvestres por habitantes del Parque Nacional El Tepozteco, Morelos, México. *Etnobiología*, 12(3), 57-67.

García-Oliva, F., I. Casar, P. Morales & J.M. Maass. (1994). Forest-to-pasture conservation influences on soil organic carbon dynamics in a tropical deciduous forest. *Oecologia*

GBIF.org (03 de julio de 2019) GBIF Ocurrencia Descargar  
<https://doi.org/10.15468/dl.zg6vnz>

González-Christen, A., & N. V. Rodríguez. (2014). Primer registro de *Tlacuatzin canescens*, (Mammalia, Didelphimorphia, Marmosidae) en Veracruz, México. *Therya*, 5(3), 845-854.

Harris, L. D. (1984). *The fragmented forest: Island biogeography theory and the preservation of biotic diversity*. The University of Chicago Press. Chicago

- Hernández-Guzmán, R., Ruiz-Luna, A., & González, C. (2019). Assessing and modeling the impact of land use and changes in land cover related to carbon storage in a western basin in Mexico. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 318-327.
- Hobbs, R. J., Arico, S., Aronson, J., Baron, J. S., Bridgewater, P., Cramer, V. A., y Norton, D. (2006). Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global ecology and biogeography*, 15(1), 1-7.
- Ibarra-Cerdeña, C. N., & Sánchez-Cordero, V. (2007). Pollinating a Columnar Cactus in West-Central Mexico. *International Journal of Zoological Research*, 3(4), 223-226.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2000). Estudio hidrológico del estado de Jalisco, Primera edición.
- IUCN, S. (2010). IUCN red list of threatened species. Vers. 2010.4
- Janzen, DH (1988). Bosques tropicales secos. *Biodiversidad*, 130-137.
- Kennedy, M. L., Schnell, G. D., de Lourdes Romero-Almaraz, M., Malakouti, B. S., Sánchez-Hernández, C., Best, T. L., & Wooten, M. C. (2013). Demographic features, distribution, and habitat selection of the gray mouse opossum (*Tlacuatzin canescens*) in Colima, Mexico. *Acta theriologica*, 58 (3), 285-298.
- Leiner, N. O., & W.R Silva. (2007). Effects of resource availability on the use of space by the mouse opossum *Marmosops paulensis* (Didelphidae) in a montane Atlantic forest area in southeastern Brazil. *Acta Theriologica*, 52 (2), 197-204.
- López-Forment, C. W., & G. Urbano-V. (1977). Restos de pequeños mamíferos recuperados en regurgitaciones de lechuza, *Tyto alba*, en Mexico. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología*, 52 (2), 197-204.
- Marshall, E. J. P., West, T. M., & Kleijn, D. (2006). Impacts of an agri-environment field margin prescription on the flora and fauna of arable farmland in different landscapes. *Agriculture, ecosystems & environment*, 113(1-4), 36-44.
- Martin, G.M. (2017). *Tlacuatzin canescens*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T12813A22177663.

- Meijaard, E., Mengersen, K., Buchori, D., Nurcahyo, A., Ancrenaz, M., Wich, S., ... Marshall, A. J. (2011). Why Don't We Ask? A Complementary Method for Assessing the Status of Great Apes. *PLoS ONE*, 6(3), e18008.
- Miles, L., Newton, A.C., DeFries, R.S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V. & J.E. Gordon. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), 491-505.
- Miranda, A. (1996). La selva tropical estacional: entre la vida y la muerte. *Tropical seasonal forests: between life and death*. Ocelotl
- Nash, H. C., Wong, M. H., & Turvey, S. T. (2016). Using local ecological knowledge to determine status and threats of the Critically Endangered Chinese pangolin (*Manis pentadactyla*) in Hainan, China. *Biological Conservation*, 196, 189-195.
- Naturalista, CONABIO <https://www.naturalista.mx/search?q=tlacuatzin%20canescens>  
Acceso 2 de julio de 2019.
- Newing, H. (2010). *Conducting research in conservation: social science methods and practice*. Routledge.
- Núñez Garduño, A. (2005). Los mamíferos silvestres de Michoacán, diversidad, biología e importancia. Morelia, Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo/Secretaría de Difusión Cultural y Extensión Universitaria.
- Pan, Y., Wei, G., Cunningham, A. A., Li, S., Chen, S., Milner-Gulland, E. J., & Turvey, S. T. (2016). Using local ecological knowledge to assess the status of the Critically Endangered Chinese giant salamander *Andrias davidianus* in Guizhou Province, China. *Oryx*, 50 (2), 257-264.
- Ramírez-Pulido J, Arroyo-Cabrales J, & Castro-Campillo A (2005) Estado actual y relación nomenclatural de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zool Mexicana*, 21(1), 21-82.
- Reid, F. (1997). *A field guide to the mammals of Central America and Southeast México*. Oxford University Press.
- Salazar, M.C. 2006. Introducción. En: Salazar, M.C. (Coord.) *La Investigación-Acción Participativa. Inicios y desarrollos*. Ed. Laboratorio Educativo. Madrid, España.

- Sánchez, R. (2001). La observación participante como escenario y configuración de la diversidad de significados. *Observar, escuchar y comprender sobre la tradición cualitativa en la investigación social*, 97-131.
- Sánchez-Azofeifa GA, Quesada M, Rodríguez JP, Nassar JM, Stoner KE, Castillo A, Garvin T, Zent EL, Calvo-Alvarado JC, Kalacska MER, Fajardo L, Gamon JA, Cuevas-Reyes P (2005) Research priorities for Neotropical dry forests. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*, 37(4), 477-485.
- Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., Linaje, M., Sarkar, S., & Peterson, A. T. (2005). Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation*, 126(4), 465-473.
- Shi H, Singh A, Kant S, Zhu Z, Waller E (2005) Integrating habitat status, human population pressure, and protection status into biodiversity conservation priority setting. *Biological Conservation*, 19(4), 1273-1285.
- Sierra, B. (1995). *Técnicas de investigación social. Teoría y Ejercicios*. 10a. ed., Editorial Paraninfo, Madrid.
- Tapia-Palacios, M. A., García-Suárez, O., Sotomayor-Bonilla, J., Silva-Magaña, M. A., Pérez-Ortíz, G., Espinosa-García, A. C., & Mazari-Hiriart, M. (2018). Abiotic and biotic changes at the basin scale in a tropical dry forest landscape after Hurricanes Jova and Patricia in Jalisco, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 426, 18-26.
- Tinoco-Sotomayor, A. N., Ramos-Guerra, H. D., Vides-Aviles, H. A., Rodríguez-Alarcón, D. C., González-Maya, J. F., & Gómez-Estrada, H (2016). Inventario preliminar y uso de mamíferos silvestres no voladores en la vereda Camarón, Montes de María (Bolívar-Colombia).
- Turvey, S. T., Trung, C. T., Quyet, V. D., Nhu, H. V., Thoai, D. V., Tuan, V. C. A., ... & Hai, C. T. T. (2015). Interview-based sighting histories can inform regional conservation prioritization for highly threatened cryptic species. *Journal of Applied Ecology*, 52 (2), 422-433.
- Vieira, E. M. (1999). *Estudo comparativo de comunidades de pequenos mamiferos em duas areas de Mata Atlantica situadas a diferentes altitudes no sudeste do Brasil*. Ph.D. Dissertation, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brazil.

- Voss, R. S., & Jansa SA (2009) Phylogenetic relationships and classification of didelphid marsupials, an extant radiation of the New World metatherian mammals. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 1-177.
- Voss, R. S., & Jansa, S. A. (2003). Phylogenetic studies on didelphid marsupials II. Nonmolecular data and new IRBP sequences: separate and combined analyses of didelphine relationships with denser taxon sampling. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 1-82.
- Wilson, D. E. (1991). Mammals of the Tres Marías Islands. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 206:214– 250
- Zarza, H., Ceballos, G., & Steele, M. A. (2003). *Marmosa canescens*. *Mammalian Species*, 1-4.
- Zeller, K. A., Nijhawan, S., Salom-Pérez, R., Potosme, S. H., & Hines, J. E. (2011). Integrating occupancy modeling and interview data for corridor identification: a case study for jaguars in Nicaragua. *Biological Conservation*, 144(2), 892-901.

## 7. Anexos

### Anexo A

#### Material de apoyo para la implementación de las entrevistas

**A.1.** Entrevista semi-estructurada aplicada en las poblaciones de Chamela, San Mateo, Juan Gil Preciado, Careyes, Emiliano Zapata, Francisco Villa y Agua Caliente

Fecha: \_\_\_\_\_ Localidad: \_\_\_\_\_

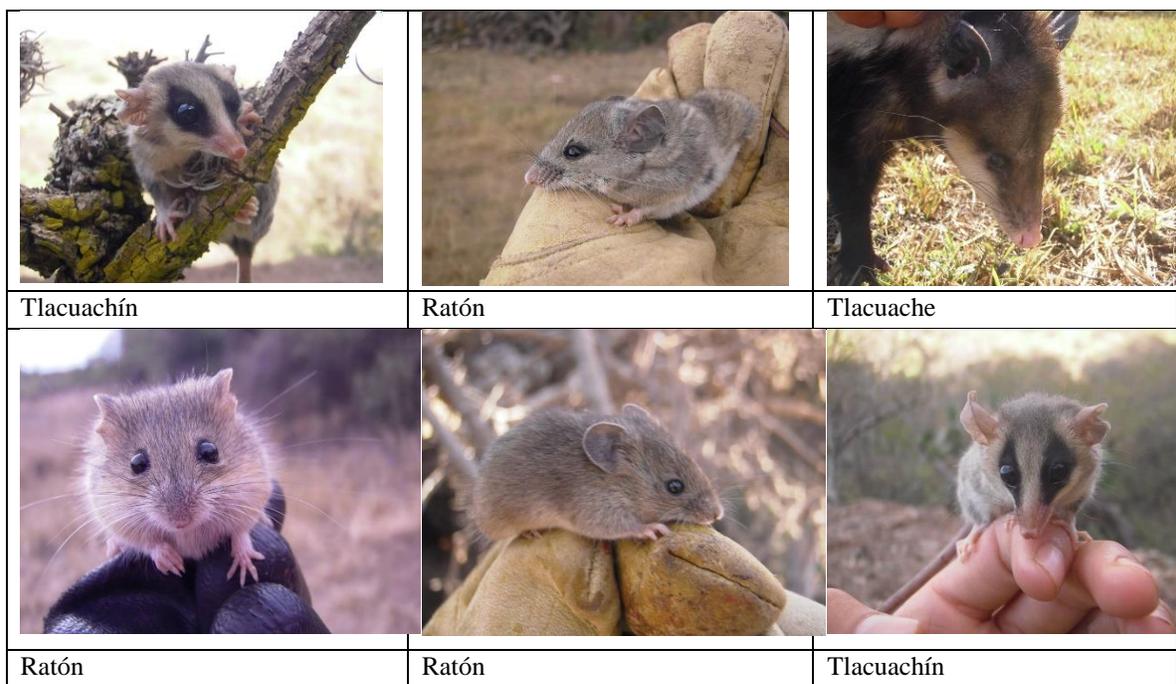
Datos sociodemográficos:

1. Nombre
2. Edad
3. Sexo
4. Oficio
5. Lugar de nacimiento

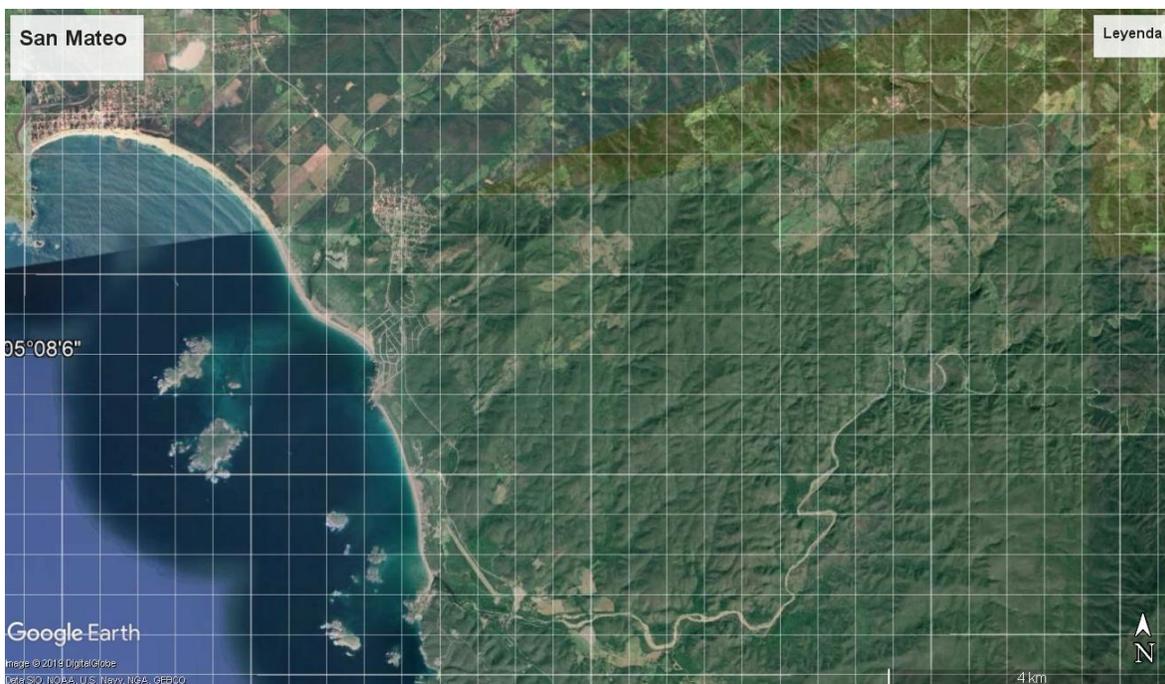
Sobre la especie:

1. ¿Conoce al Tlacuatzin? a) Si b) No c) No está seguro
2. ¿Qué otros nombres se le conocen a este animal?
3. ¿Dónde lo ha visto? a) Bosque b) Patio c) Cultivo (tipo: \_\_\_\_\_) d) Otro: \_\_\_\_\_
4. ¿Dónde más se puede ver a este animal? a) Bosque b) Patio c) Cultivo (tipo: \_\_\_\_\_) d) Otro: \_\_\_\_\_
5. ¿En qué lugares no se puede ver/encontrar a este animal? a) Bosque b) Patio c) Cultivo (tipo: \_\_\_\_\_) d) Otro: \_\_\_\_\_
6. ¿Cuántas veces lo vio?
7. ¿Qué hacía el animal cuando lo vio? a) Dormía b) Comía c) Caminaba d) Otro: \_\_\_\_\_
8. ¿Hace cuánto lo vio? a) Días b) Semanas c) Meses d) Años
9. ¿Que come este animal?
10. ¿Cuál es su opinión acerca de este animal? a) Inofensivo b) Dañino c) indiferente
11. ¿Lo considera una plaga? Sí \_\_\_ No \_\_\_ ¿Cómo lo controla? \_\_\_\_\_

## A.2 Imágenes mostradas a los entrevistados



A.2.1. Ejemplo de imágenes mostradas a los entrevistados durante el proceso de entrevistas semi-estructurada. Fotografías tomadas por Daniel Ferreyra.



A.2.2. Ejemplo de las imágenes mostradas a los entrevistados (Google earth pro)

## Anexo B.

### Resultados de las entrevistas aplicadas a los pobladores locales

		Reconocen	No reconocen	Confundidos	Total	%
<b>Genero</b>	masculino	35	14	6	55	52.9
	femenino	8	32	9	49	47.1
<b>Edad</b>	joven (17-24 años)	4	3	1	8	7.7
	adulto (25-59 años)	22	29	7	58	55.8
	adulto-mayor (mayores de 60 años)	17	14	7	38	36.5
<b>Ocupación</b>	albañil	6	2	0	8	7.1
	ama de casa	5	27	10	42	37.5
	arquitecto	1	0	0	1	0.9
	barrendero	1	0	0	1	0.9
	biólogo	1	0	0	1	0.9
	campesino	10	1	1	12	10.7
	carpintero	1	0	1	2	1.8
	cazador	1	0	0	1	0.9
	cocinero	0	0	1	1	0.9
	comercio	2	5	1	8	7.1
	costurera	0	2	2	4	3.6
	empleado	2	3	0	5	4.5
	estilista	1	0	0	1	0.9
	jardinero	3	2	0	5	4.5
	jornalero	1	0	0	1	0.9
	maestro	0	0	1	1	0.9
	mecánico	2	2	0	4	3.6
	pescador	3	4	0	7	6.3
	pintor	1	0	0	1	0.9
	seguridad	1	0	0	1	0.9
soldador	1	0	0	1	0.9	
técnico de la estación	3	0	0	3	2.7	

	turismo	1	0	0	1	2.7
<b>Procedencia</b>	Jalisco	31	36	10	77	74.1
	Michoacán	4	2	3	9	8.7
	Guerrero	3	2	0	5	4.8
	Nayarit	1	0	0	1	1.0
	Tabasco	1	0	0	1	1.0
	Colima	1	2	0	3	2.9
	Morelos	0	1	0	1	1.0
	Puebla	0	1	0	1	1.0
	Estado de México	1	1	1	3	2.9
	Chiapas	0	1	0	1	1.0
	Chicago	0	0	1	1	1.0
	sin respuesta	1	0	0	1	1.0

B.1. Datos socioeconómicos de las personas entrevistadas N=104.

Pregunta	Respuesta (código)	Número de menciones	%
<b>PERCEPCION</b>			
¿Conoce a Tlacuatzin? (N=104)	si	43	41.3
	no	46	44.2
	confunde	15	14.4
¿De qué otra forma lo llaman? (N=45)	(tlacuatzin)	25	55.6
	talcoyote	7	15.6
	ratón tlacuache	2	4.4
	tlacuache pequeño	2	4.4
	ratilla	2	4.4
	comadreja	1	2.2
	no sabe nombre	6	13.3
¿Cuál es su opinión sobre el Tlacuatzin? (N=60)	inofensivo	41	68.3
	dañino	1	1.7
	es plaga	1	1.7
	controla plagas de insectos	2	3.3
	indiferente	1	1.7
	está en peligro	6	10
	son mansitos	3	5
	he tenido como mascotas	5	8.3
¿Controlaría su presencia? (N=43)	con perros	2	4.7
	no lo controlaría	41	95.3
<b>CONOCIMIENTO</b>			
¿Dónde lo encontró? (N=37)	hojarasca	4	10.8
	nidos esféricos	13	35.1
	huecos de arboles	9	24.3
	pedras	1	2.7
	dentro de mazorcas de maíz	5	13.5
	cercas	1	2.7
	maderas	1	2.7
	trampas (estudios biológicos)	3	8.1
¿Dónde lo ha visto? (N=75)	selva/monte	31	41.3
	cultivo	8	10.7
	cultivo de maíz	9	12
	potrero	8	10.7
	rio	6	8
	manglar	4	5.3
	jardín de hotel	5	6.7

	patio con vegetación	3	4
	isla	1	1.3
<b>¿Dónde no se encuentra? (N=44)</b>	patio	28	63.6
	casa	4	9.1
	playa (arena)	4	9.1
	lugares fríos	2	4.5
	lugares secos	1	2.3
	no sabe	5	11.4
<b>¿Qué come? (N=56)</b>	fruta	17	30.4
	insectos	14	25
	raíces	7	12.5
	semillas	2	3.6
	hojas-hierbas	8	14.3
	animales pequeños	2	3.6
	origen antrópico	2	3.6
	no sabe	4	7.1
<b>Actividad del especie durante el avistamiento (N=46)</b>	escondido	27	58.7
	posaba	9	19.6
	caminaba	7	15.2
	comía	2	4.3
	sin respuesta	1	2.2
<b>Frecuencia de avistamiento (N= 43)</b>	única vez	10	23.3
	poco (menos de 5)	15	34.9
	seguido/muchas	16	37.2
	sin respuesta	2	4.7
<b>¿Hace cuánto lo vio? (N= 43)</b>	días	1	2.3
	1-3 semanas	2	4.7
	1-11 meses	6	14
	1-5 años	11	25.6
	5-15 años	11	25.6
	15-40 años	11	25.6
	sin respuesta	1	2.3
<b>¿Con que animal lo confunden? (N=15)</b>	tlacuache	10	66.7
	mapache	2	13.3
	rata/ratón	2	13.3
	tuza	1	6.7

B.2. Conocimiento de los pobladores sobre *T. canescens*. Las respuestas (códigos) se construyeron con base a las respuestas de los entrevistados. Para los datos obtenidos por cada pregunta se consideró el número de menciones por entrevistado (los resultados pueden exceder el número de entrevistados).

Pregunta	Comentarios de los entrevistados:
Percepción	
¿De qué otra forma lo llama?	"Talcaoyotito" (José Francisco, 65 años) "Talcoyote" (Isabel, 57 años, Luis, 52 años, José, 82 años)
¿Cuál es su opinión sobre el Tlacuatzin?	"Son muy diferentes a las ratas, son animales del cerro" (Emiliano, 47 años) "Los ratones son plagas, el tlacuachín no es dañero", "Están en peligro, hay menos" (Arnoldo, 64 años) "Son mansitos " (Roberto, 67 años) "Los hemos tenido unos días de mascotas" (Guillermina, 59 años) "... muerden bonito" (Cristina, 19 años) "Están en peligro de extinción" (Arturo, 41 años) "Son bellas mascotas, anidan hechos bolita, cuando se espantan abren la boca. Los gatos los matan" (Julián, 71 años) "He tenido como mascotas, de dos máximo, pero se mueren de tristeza" (Edgar, 43 años)
Conocimiento	
¿Dónde lo encontró?	"Hace 40 años cuando pizcaba el maíz encontraba al talcoyotito metido en la hoja de maíz..." (José Francisco, 65 años) "Cuando vivíamos en el monte los vimos entre la ropa haciendo un nido..." (Cristina, 19 años) "Cuando trabajaba como técnico en la estación, salían en las brechas al machetear los palos, salían de la madera cuando se construyeron los senderos y los escalones en la estación" (Marcelino, 69 años) "Los encontraba en las trampas de caída en la estación" (Beatriz, 42 años) "Después del ciclón del Jova, los encontré en el manglar" (Edgar, 43 años) "Crecí en el campo, vi al talcoyote en nidos de paja cuando estaban peloncitos, los buscábamos" (Isabel, 57 años) "En nidos en los árboles" (Luis, 52 años) "Tienen sus nidos entre ramas, brotan con los machetazos, hay pocos" (Justo, 67 años) "Trabaje poniendo trampas en la Fundación Cuixmala, los encontré en árboles caídos" (Narciso, 48 años) "El talcoyote está en nidos en huecos de árboles" (José, 82 años) "Trabajando en las parcelas de los biólogos, los he visto en las mallas de colecta para las hojas" (Julio, 26 años)
¿Dónde lo ha visto?	"Se meten en la hoja del maíz y en el zacatito cerca del mar" (Roberto, 67 años) "Los ves por los arroyos y el monte lejos del ruido" (Camilo, 36 años) "El talcoyote está en lo muy boscoso" (Luis, 52 años)
¿Qué come?	"...no dañan las mazorcas, se comen a los insectos. Pero ya no hay, los químicos de las plantas los mataron. Se han extinguido" (José Francisco, 65 años) "Se comen los insectos y los alacranes" (Salvador, 47 años)
Frecuencia de avistamiento	"Lo veía seguido siempre en el mismo árbol sobre la carretera, salía del hueco de un árbol" (David, 57 años) "Solo los he visto en las Islas Marías en nidos de paja" (Cristóbal, 68 años)
¿Hace cuánto lo vio?	"Hace 40 años cuando pizcaba el maíz encontraba al talcoyotito metido en la hoja de maíz..." (José Francisco, 65 años) "Desde el 2016 se ven menos las especies arborícolas" (Beatriz, 42 años) "Hace algunos meses llego mi hijo con un nido de paja en forma de bola, adentro tenía un animalito con un montón de cositas pegadas, parecían sus hijitos" (María, 42 años) "Lo vi hace tres meses al tumbar árboles, se espantó" (Alejandro, 23 años)

### B.3. Comentarios por los entrevistados, asociados a una respuesta del cuestionario.

<b>Especie</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Lugar</b>
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.960727	19.383816	orilla del pueblo
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.050147	19.4980916	UDG de RBCC
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.055427	19.525727	brisas de chamela
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.070194	19.528455	árbol en carretera
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.071858	19.525466	por el estero
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.07792	19.531744	laguna por carretera chamela
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.006921	19.40782	polo club
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.089408	19.5780027	cruzando la carretera por la laguna
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.001827	19.590338	Rancho
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.064547	19.6142416	cruce por carretera
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.053286	19.612877	Potrero
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.030916	19.444027	jardín en casa
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.985122	19.4160638	fundación Cuixmala
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.021797	19.4441917	cerro en Juan Gil
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.082747	19.574749	cerro San Mateo
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.898853	19.498827	por arroyo Caimán
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.060103	19.580733	Parcela
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.889903	19.3099944	por río purificación
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.974142	19.386344	por río zapata
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.031903	19.4417028	casas a careyes en jardín
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.028953	19.438458	jardín en casa
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.922783	19.607861	bosque Nacastillo
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.905992	19.515678	Rancho
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.008478	19.375606	playa en Cuixmala
<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.039028	19.5028806	RBCC

B.4. Observaciones de *T. canescens* (coordenadas aproximadas) por los entrevistados.

## Anexo C

### Registro de *T. canescens* en bases de datos.

Fuente	Especie	Longitud	Latitud
Naturalista	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.497305	20.23662
Naturalista	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.442808	20.48729
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.26	19.94
UNAM	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.103	21.674
Naturalista	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.082802	19.53094
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.082222	19.5288889
Naturalista	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.073794	19.52677
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.070833	19.5291667
UNAM	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.05	19.5
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.05	19.5288889
UNAM	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.0456	19.50451
UNAM	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.04397	19.49758
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.042	19.4985
UNAM	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.03928	19.4985
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.039167	19.4947222
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.034691	19.4883003
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.033333	19.4833333
UNAM	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.032978	19.512714
Naturalista	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.025466	19.51127
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.020833	19.4458333
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.020833	19.5277778
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.015833	19.5266666
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.013889	19.45
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.006217	19.4989827
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.996667	19.5266666
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.991667	19.3958333
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.979167	19.3611111
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.972222	19.4416667
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.966667	19.3666667
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.958333	19.4833333
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.946699	19.503993
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.941667	19.3666667
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.915556	19.5288889
Naturalista	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.90481	20.55622
CONABIO	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-104.848889	19.5288889
Naturalista	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-103.272285	20.31882
GBIF	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-102.473808	19.588603

<b>UNAM</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-101.87	19.16389
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-101.570067	19.544075
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-101.442276	19.1483148
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-100.263333	19.267778
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-100.263	19.268
<b>UNAM</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-100.0228	17.01507
<b>UNAM</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-100.0226	17.01469
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-99.614	16.725
<b>UNAM</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-99.61361	16.725
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-99.601389	17.815278
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-99.601	17.815
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-99.5009389	17.5520953
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-99.271	18.559
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-99.270833	18.559444
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-99.258056	18.743611
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-99.258	18.744
<b>UNAM</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-99.08139	18.86111
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-97.836389	16.634444
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-97.6500721	20.4927954
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-97.65	20.492222
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-97.393	18.462
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-97.256667	18.276667
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-97.0822647	16.1205035
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-96.491667	17.491667
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-95.758333	16.375
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-95.258333	16.341667
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-95.24	16.324
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-94.208333	16.458333
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-93.130833	16.765556
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-89.019	20.932
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-89.018611	20.932222
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-89.0175	20.931111
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-88.826	20.548
<b>GBIF</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-88.590833	20.698611
<b>Naturalista</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-101.136999	19.7009
<b>Naturalista</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.038823	19.49674
<b>Naturalista</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.442808	20.48729
<b>Naturalista</b>	<i>Tlacuatzin canescens</i>	-105.442808	20.48729

C.Tabla de registros de *T. canescens* en bases de datos.

**Capítulo 2. Análisis de la conectividad funcional entre remantes de hábitat y la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala utilizando a *Tlacuatzin canescens***

## 1. Introducción

La deforestación es uno de los principales factores que modifica la conectividad del paisaje (Ceballos et al., 2010). La reducción de hábitat natural afecta la dispersión de organismos silvestres y su dinámica poblacional (Dirzo et al., 2011). La selva seca es uno de los ecosistemas más amenazados por la fragmentación (Janzen 1988; Miles et al., 2006). En general las selvas secas han recibido poca atención pese a que poseen un elevado grado de endemismo (Trejo y Dirzo, 2002). Pocos estudios se han focalizado en determinar la tasa de deforestación global para la selva seca (Miles et al., 2006), pero dada la preferencia de este entorno para el desarrollo antrópico la amenaza es evidente (Maser et al., 1997; Sánchez-Azofeifa et al., 2005). En México, en la década de 1980 se estimaba que la tasa de deforestación anual de este tipo de hábitat era del 2% (Maser et al. 1997) y se ha sugerido que al menos el 48% de su extensión se ha convertido a otros usos de suelo (Hoekstra et al. 2005).

En respuesta a la urgente necesidad de conservar ecosistemas forestales como las selvas secas se han propuesto el establecimiento de áreas naturales protegidas (ANP; Guevara y Halfpeter, 2007; Halfpeter, 2011). En México se protege aproximadamente el 10% de la superficie de selva seca (Trejo y Dirzo, 2002), en ANP entre las que destacan las reservas de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCC) en Jalisco, y la Sierra de Huautla, en Morelos (Dorado et al. 2005). Si bien las ANP son efectivas para detener la deforestación en su interior (Bruner et al. 2001), a largo plazo la biodiversidad que albergan sigue amenazada por el efecto del aislamiento progresivo a partir de la desaparición de los hábitats naturales en su vecindad (Bennett 2004; De Clerck et al., 2010; Garmendia et al., 2013). Es importante mantener la conectividad de los hábitats dentro y fuera de las ANP para garantizar el flujo de individuos y genes, y a su vez la persistencia de las poblaciones y

de la biodiversidad (Ricketts, 2001; Calabrese y Fagan 2004). Para evitar el aislamiento de las poblaciones refugiadas en las ANP se requiere implementar una red de conservación de las selvas aledañas a lo largo de su distribución y acciones como las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) y pago por servicios ambientales (Ceballos et al., 2010).

Los mamíferos son un grupo de vertebrados muy importantes ya que cumplen diversas funciones ecológicas. Muchas especies de mamíferos están involucrados en interacciones bióticas fundamentales para la regeneración del bosque, como la dispersión de semillas (Howe y Smallwood 1982; Lobova et al. 2009) y la polinización (Ghazoul 2005). Algunas especies de pequeños mamíferos tienen áreas de distribución restringidas y requerimientos de hábitat muy particulares. En respuesta a las condiciones climáticas extremas del hábitat muchas de estas especies utilizan las selvas secas durante la época de lluvias por la disponibilidad de recursos. Por otra parte presentan adaptaciones fisiológicas para prosperar durante la época de secas, por ejemplo algunas especies, incluyendo marsupiales, presentan disminución de la temperatura corporal y torpor diario (diurno) y almacenamiento de grasa en su cola (Lovegrove et al. 1999). Son sensibles a la fragmentación de su hábitat y capaces de responder a una escala ambiental de unos cuantos metros (Corry 2005).

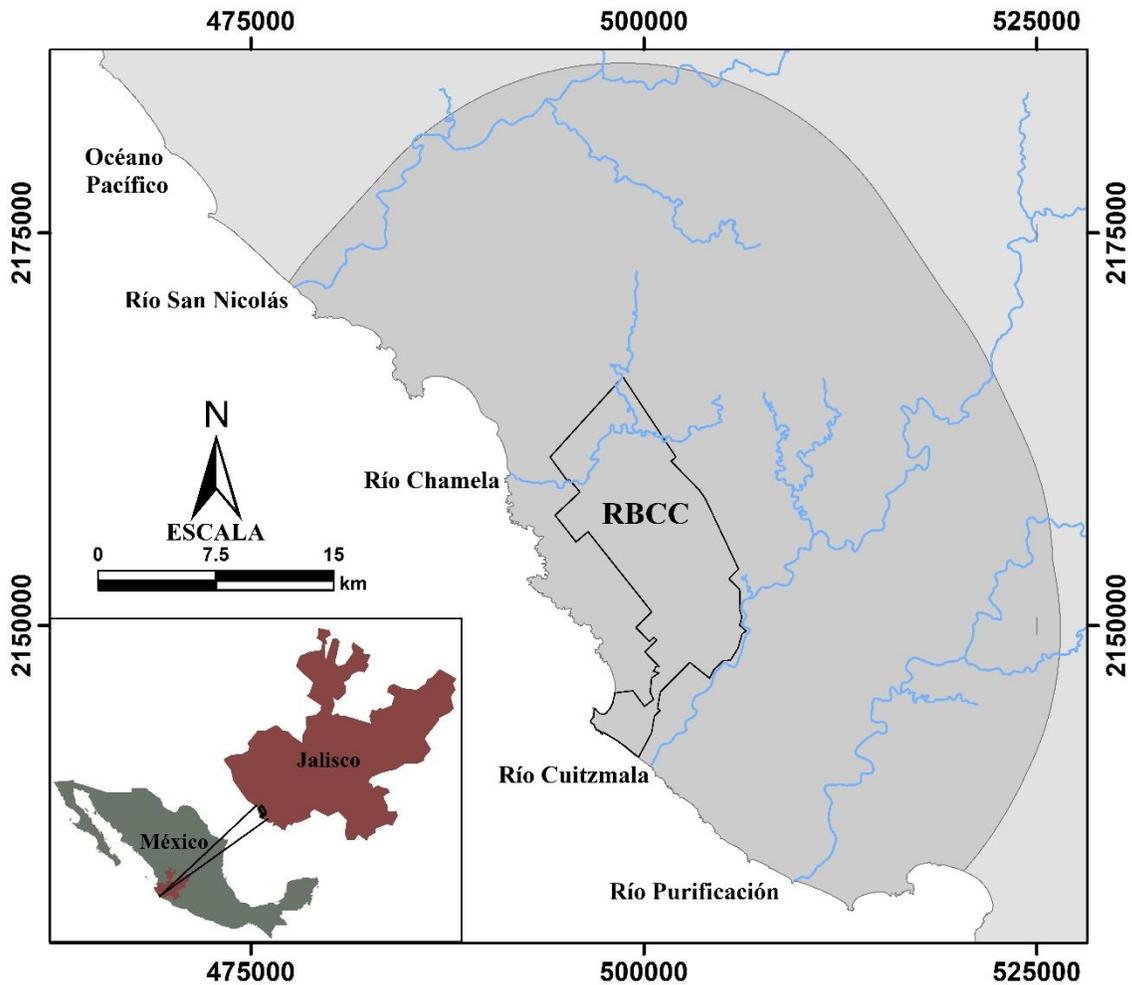
Dado el grado de pérdida de vegetación en la selva seca, la conectividad funcional del paisaje entre los fragmentos remanentes de vegetación está restringido para pequeños mamíferos especialistas y no voladores, debido a las características de movilidad y uso de hábitat. Para este estudio se utilizó al ratón tlacuache (*Tlacuatzin canescens*), pequeño marsupial endémico, característico de la región de interés, cuyos atributos ecológicos permiten evaluar la conectividad funcional. Se espera que la distancia máxima de

dispersión del *T. canescens* sea una limitante para la conectividad funcional entre los parches de vegetación, lo que puede poner en riesgo a las poblaciones “aisladas”. El objetivo central de este estudio es a) evaluar el grado de conectividad funcional entre la RBCC y los remanentes de hábitat adyacentes para mamíferos pequeños asociados a la selva seca utilizando a *T. canescens* como modelo de estudio mediante la teoría de grafos y teoría de circuitos, b) identificar los parches de selva seca adyacentes a la RBCC más importantes para mantener la conectividad y c) hacer una propuesta de corredores biológicos.

## **2. Metodología**

### **2.1 Área de estudio**

Este estudio se realizó en la región de Chamela en la porción sur de la costa de Jalisco, México. En esta región se localiza la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCC). El área de estudio comprende la RBCC más una franja de 20 km alrededor de la misma, que abarca al menos 10 veces la distancia de dispersión máxima calculada para especies similares a la especie focal de este estudio. Con área total de 154, 836 hectáreas. Dentro del área de estudio se encuentran los poblados de Juan Gil Preciado, San Mateo, Chamela, Careyes, Emiliano Zapata, Francisco Villa y Agua Caliente, adyacentes a la RBCC. Los principales tipos de vegetación y uso del suelo en la región son: selva seca, manglar y tierras destinadas al cultivo y al pastoreo intensivo. El área de estudio se limita al noroeste con una extensa área de cultivos, al este con la vegetación de bosque mesófilo de montaña y áreas de pastizales, al sur con un paisaje de cultivos y poblados, y al oeste con el Océano Pacífico.



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio que comprende la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCC) más una franja de 20 km. Coordenadas métricas de la zona UTM 13N, Datum WGS84.

## 2.2 Elaboración de superficie de resistencia

Para la construcción del modelo de conectividad funcional mediante la teoría de grafos y teoría de circuitos se requiere de un modelo de resistencia y la selección de parches idóneos para conectar. La resistencia se refiere al grado en el que los elementos del paisaje facilitan o dificultan el desplazamiento de la especie focal (Adriaensen et al., 2003). Las variables que se consideraron para la construcción del modelo de resistencia fueron: el tipo de cobertura y uso de suelo, la pendiente del terreno, el ancho de carreteras presentes y el

orden de drenaje. Estos son elementos del paisaje que repercuten en la dispersión de la especie.

El modelo de resistencia se construyó a partir de una modificación de la fórmula propuesta por Correa-Ayram et al., (2014), y la opinión de investigadores adquirida mediante un cuestionario (Anexo A.1. y A.2.) dirigido a expertos en mamíferos, los cuales asignaron valores de resistencia a las variables del paisaje, en un rango de 1 a 100. Siendo los valores más cercanos a 100 los de mayor resistencia. Se utilizó el promedio de los valores asignados por los expertos para cada variable (Anexo B.1.), método empleado en el 65% de los casos (Beier et al., 2009). El cuestionario fue respondido por tres de los 40 investigadores contactados mediante correos electrónicos enviados a investigadores de universidades mexicanas (Anexo B.2.). Debido al bajo éxito en términos de la respuesta a los cuestionarios se utilizó información derivada de entrevistas realizadas para un estudio paralelo sobre la especie como para asignar valores de resistencia.

De la fórmula original propuesta por Correa-Ayram et al., (2014) se descartó el modelo de nicho, debido a que en este caso la conectividad funcional se analizó a escala local donde la variación climática es relativamente reducida; se integraron las variables de distancia y densidad de áreas urbanas dentro de la variable de cobertura vegetal y uso de suelo; se descartó la variable de altitud puesto que el área de estudio presenta poca variación y no excede los límites de tolerancia de la especie; se reemplazó el uso de las variables distancia y densidad de carreteras por la variable ancho de carreteras. Por último se incorporó a la fórmula la variable de orden de drenaje, puesto que en el área hay ríos con un caudal importante que pueden constituirse en barreras de dispersión. A continuación se muestra la fórmula propuesta para el modelo:

$$\text{Resistencia} = Cs + Pen + Od + Ca$$

Donde:

- Cs= Cubierta vegetal y uso de suelo
- Pen= Pendiente
- Od= Orden de drenaje
- Ca= Ancho de carreteras

Para cada una de las variables consideradas en el modelo de resistencia, se elaboraron las siguientes capas:

*Cubierta vegetal y uso de suelo.*- Para su elaboración se caracterizó el paisaje con ayuda del software ArcMap 10.3 mediante un proceso de “clasificación no supervisada” empleando un algoritmo de isocluster, en donde se realiza una agrupación basada en los valores de reflectancia de los píxeles de imágenes satelitales Landsat OLI del 2018

(<https://www.usgs.gov>). Se predefinió un total de 30 conglomerados que abarcaron variantes de las siguientes categorías: agua, suelo expuesto, selva seca y otros tipos de vegetación. La delimitación de los poblados y carreteras se hizo a través de la digitalización de polígonos y líneas en pantalla usando imágenes de alta resolución desplegadas en Google Earth Pro. © En el caso de carreteras se utilizó el mapa del Instituto Mexicano del Transporte en formato shapefile (<https://www.gob.mx/imt>), los ríos se obtuvieron en formato shapefile del Instituto Nacional de Estadística y Geografía

(<https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/hidrografia/>). Las capas en formato shapefile se transformaron al formato raster empleando los mismos valores de referencia que la imagen Landsat OLI del 2018 (número de columnas y renglones, y 30 m del tamaño del píxel en la zona UTM 13N). Como resultado de la clasificación, se obtuvieron los siguientes valores de extensión de las distintas categorías: agua 563.22 ha (0.4 %), selva seca 95,980.50 ha

(62%), suelo expuesto 44,823.69 ha (28.9%), otro tipo de vegetación 9,933.3 ha (6,4%), zona rural 646.74 ha (0.4%), caminos 1,828.8 ha (1.2%) y ríos 1,060.02 ha (0.7%).

*Pendiente.*- Utilizando el software ArcMap 10.3 se calculó la pendiente del terreno a partir de un modelo digital de elevación elaborado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía

(<https://www.inegi.org.mx/400.html?aspxerrorpath=/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>) con resolución de 30 m. Los valores se clasificaron en los siguientes intervalos:

1) 0° -5°; 2) 5° -15°; 3) 15° -30° y 4) 30° -65°.

*Orden de drenaje.*- Los ríos se clasificaron considerando los valores de densidad de su drenaje, los cuales se calcularon a partir del modelo digital de elevación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía con una resolución de 30 m

(<https://www.inegi.org.mx/400.html?aspxerrorpath=/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>). El procedimiento se llevó a cabo usando el software ArcMap 10.3, para buscar las depresiones, dirección del flujo, y después la acumulación de flujo para determinar los ríos y arroyos. El orden de drenaje se clasificó de acuerdo a la jerarquía de afluentes según Strhaler (1957), donde cada segmento de un río o arroyo en una red es considerado un nodo en una red de drenaje, y permite inferir algunas características de los arroyos simplemente al conocer el orden. La primer clasificación es el orden 1 que corresponde a los vínculos sin afluentes, al interceptar dos vínculos de orden 1 obtenemos la clasificación de orden 2, a la intercepción de dos vínculos de orden 2 se crea un vínculo de orden 3, y así sucesivamente.

*Ancho de carreteras*: La descripción de las carreteras presentes en el área de estudios se realizó a partir del mapa del Instituto Mexicano del Transporte (<https://www.gob.mx/imt>) y se complementó con la digitalización en pantalla de imágenes de alta resolución (Google Earth Pro) de las carreteras. Posteriormente se rasterizaron las líneas de carreteras trazadas conservando los mismo valores de referencia que la imagen Landsat OLI del 2018 (número de columnas y renglones, y 30 m del tamaño del pixel en la zona UTM 13N). Con base en la anchura de las carreteras se elaboró en las siguientes categorías:

1) Clase 1: 3.5m; 2) Clase 2: 3.5 – 5 m; 3) Clase 3: 5 – 6 m; 4) Clase 4: 6 – 7 m; y 5) Clase 5: 7 – 8 m

Finalmente, se aplicó la fórmula propuesta para calcular la resistencia general, sumando el promedio de los valores de resistencia obtenidas mediante la opinión de expertos para cada variable en el software ArcMap 10.3.

### 2.3 Selección de parches idóneos para *T. canescens* y conectividad funcional

Para la definir parches de selva seca idóneos para mantener poblaciones de *T. canescens* se partió de calcular el área de parche que se requeriría para acomodar una población de 500 individuos, este valor, si bien un tanto arbitrario, se ha propuesto que puede incrementar las posibilidades de supervivencia de una población a largo plazo (Jamieson & Allendorf, 2012). Se calculó la mediana de los valores de abundancia reportados para la especie (Ceballos 1989, 1990; Kennedy et al., 2013). Este valor resultó ser 2.6 ind/ha. A partir de este valor se calculó cuantas hectáreas se requieren para mantener una población de 500 individuos. El valor obtenido (193.4 hectáreas) se empleó como mínimo de área para decidir si los parches se consideraban idóneos o no, y si por lo tanto debían ser conectados o no.

El Índice Integral de Conectividad (IIC) y la Probabilidad de Conectividad (PC) se obtuvieron utilizando el software CONEFOR SENSINODE 2.6 (Saura & Torné. 2012) que está disponible gratuitamente en línea (<http://www.conefor.org/>). Puesto que el IIC se calcula en la totalidad del paisaje, se presenta el valor porcentual que corresponde a cada parche (dIIC), este valor indica cuánto disminuiría el IIC si el fragmento desapareciera. Adicionalmente para indicar qué parches tienen mayor capacidad de flujo se estimó el índice de flujo (dIICflux). Finalmente para estimar la conectividad que ofrece un parche a todo el paisaje se calcula el índice de conector (dIICconnector).

IIC varía de 0 a 1 y aumenta con la conectividad mejorada. Es dado por:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + n l_{ij}}}{A_L^2}$$

donde n es el número total de nodos en el paisaje, ai y aj son los atributos de los nodos i y j, nlij es el número de enlaces en la ruta más corta (distancia topológica) entre los parches i y j, y AL es el paisaje máximo atributo. Para los nodos que no están conectados (pertenecen a diferentes componentes), el numerador en la ecuación para IIC es igual a cero (nlij = ∞). Cuando i = j, entonces nlij = 0; esto se relaciona con el concepto de disponibilidad de hábitat que se aplica para IIC, en el cual un parche en sí mismo se considera como un espacio donde existe conectividad. Si el atributo del nodo es área (área de parche de hábitat), entonces AL es el área total del paisaje (área de la región analizada, que comprende parches tanto de hábitat como no). IIC = 1 cuando todo el paisaje está ocupado por el hábitat.

El análisis de probabilidad de conectividad (dPC) indica cuánto disminuiría la probabilidad de conectividad si el fragmento desaparece. Adicionalmente para indicar que parches tienen mayor probabilidad de flujo se estimó el índice de probabilidad de flujo (dPCflux). Finalmente para estimar la probabilidad que ofrece un parche a todo el paisaje se calcula la probabilidad de conector (dPCconnector).

La PC varía de 0 a 1 y aumenta con la conectividad mejorada. Está dado por:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot a_j \cdot \rho_{ij}^*}{A_L^2}$$

donde n es el número total de nodos de hábitat en el paisaje,  $a_i$  y  $a_j$  son los atributos de los nodos i y j,  $A_L$  es el atributo máximo del paisaje (ver sección 6.3), y  $P^*_{ij}$  es la probabilidad máxima del producto de todos los caminos entre parches i y j. Una ruta se compone de un conjunto de pasos en los que no se visita ningún nodo más de una vez, donde un paso es un movimiento directo de un dispersor entre dos nodos (sin pasar por ningún otro nodo intermedio). La probabilidad del producto de una ruta es el producto de todos los  $p_{ij}$  que pertenecen a cada paso en esa ruta.  $p^*_{ij}$  se define como la probabilidad máxima del producto de todas las rutas posibles entre los parches i y j (incluidas las rutas de un solo paso). Si los nodos i y j están lo suficientemente cerca, la ruta de probabilidad máxima será simplemente el movimiento directo entre los nodos i y j ( $P^*_{ij} = p_{ij}$ ). Si los nodos i y j están más distantes, la "mejor" ruta (probabilidad máxima) comprenderá varios pasos a través de nodos intermedios que producirán  $p^*_{ij} > p_{ij}$ .

## 2.4 Selección de parches idóneos para *T. canescens* y conectividad funcional

Para la construcción del modelo de conectividad funcional mediante la teoría de grafos y teoría de circuitos se requiere de un modelo de resistencia y la selección de parches idóneos para conectar. La resistencia se refiere al grado en el que los elementos del paisaje facilitan o dificultan el desplazamiento de la especie focal (Adriaensen et al., 2003). Las variables que se consideraron para la construcción del modelo de resistencia fueron: el tipo de cobertura y uso de suelo, la pendiente del terreno, el ancho de carreteras presentes y el orden de drenaje. Estos son elementos del paisaje que repercuten en la dispersión de la especie.

El modelo de resistencia se construyó a partir de una modificación de la fórmula propuesta por Correa Ayram et al., (2014), y la opinión de investigadores adquirida mediante un cuestionario (Anexo A.1. y A.2.) dirigido a expertos en mamíferos, los cuales asignaron valores de resistencia a las variables del paisaje, en un rango de 1 a 100. Siendo los valores más cercanos a 100 los de mayor resistencia. Se utilizó el promedio de los valores asignados por los expertos para cada variable (Anexo B.1.), método empleado en el 65% de los casos (Beier et al., 2009). El cuestionario fue respondido por tres de los 40 investigadores contactados mediante correos electrónicos enviados a investigadores de universidades mexicanas (Anexo B.2.). Debido al bajo éxito en términos de la respuesta a los cuestionarios se utilizó información derivada de entrevistas realizadas para un estudio paralelo sobre la especie como para asignar valores de resistencia.

De la fórmula original propuesta por Correa-Ayram et al., (2014) se descartó el modelo de nicho, debido a que en este caso la conectividad funcional se analizó a escala local donde la variación climática es relativamente reducida; se integraron las variables de

distancia y densidad de áreas urbanas dentro de la variable de cobertura vegetal y uso de suelo; se descartó la variable de altitud puesto que el área de estudio presenta poca variación y no excede los límites de tolerancia de la especie; se reemplazó el uso de las variables distancia y densidad de carreteras por la variable ancho de carreteras. Por último se incorporó a la fórmula la variable de orden de drenaje, puesto que en el área hay ríos con un caudal importante que pueden constituirse en barreras de dispersión. A continuación se muestra la fórmula propuesta para el modelo:

$$\text{Resistencia} = C_s + P_{en} + O_d + C_a$$

Donde:

- $C_s$ = Cubierta vegetal y uso de suelo
- $P_{en}$ = Pendiente
- $O_d$ = Orden de drenaje
- $C_a$ = Ancho de carreteras

Para cada una de las variables consideradas en el modelo de resistencia, se elaboraron las siguientes capas:

*Cubierta vegetal y uso de suelo.*- Para su elaboración se caracterizó el paisaje con ayuda del software ArcMap 10.3 mediante un proceso de “clasificación no supervisada” empleando un algoritmo de isocluster, en donde se realiza una agrupación basada en los valores de reflectancia de los píxeles de imágenes satelitales Landsat OLI del 2018

(<https://www.usgs.gov>). Se predefinió un total de 30 conglomerados que abarcaron variantes de las siguientes categorías: agua, suelo expuesto, selva seca y otros tipos de vegetación. La delimitación de los poblados y carreteras se hizo a través de la digitalización de polígonos y líneas en pantalla usando imágenes de alta resolución desplegadas en

Google Earth Pro. © En el caso de carreteras se utilizó el mapa del Instituto Mexicano del Transporte en formato shapefile (<https://www.gob.mx/imt>), los ríos se obtuvieron en formato shapefile del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (<https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/hidrografia/>). Las capas en formato shapefile se transformaron al formato raster empleando los mismos valores de referencia que la imagen Landsat OLI del 2018 (número de columnas y renglones, y 30 m del tamaño del pixel en la zona UTM 13N). Como resultado de la clasificación, se obtuvieron los siguientes valores de extensión de las distintas categorías: agua 563.22 ha (0.4 %), selva seca 95,980.50 ha (62%), suelo expuesto 44,823.69 ha (28.9%), otro tipo de vegetación 9,933.3 ha (6,4%), zona rural 646.74 ha (0.4%), caminos 1,828.8 ha (1.2%) y ríos 1,060.02 ha (0.7%).

*Pendiente.*- Utilizando el software ArcMap 10.3 se calculó la pendiente del terreno a partir de un modelo digital de elevación elaborado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía

(<https://www.inegi.org.mx/400.html?aspxerrorpath=/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>) con resolución de 30 m. Los valores se clasificaron en los siguientes intervalos:

1) 0° -5°; 2) 5° -15°; 3) 15° -30° y 4) 30° -65°.

*Orden de drenaje.*- Los ríos se clasificaron considerando los valores de densidad de su drenaje, los cuales se calcularon a partir del modelo digital de elevación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía con una resolución de 30 m

(<https://www.inegi.org.mx/400.html?aspxerrorpath=/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>). El procedimiento se llevó a cabo usando el software ArcMap 10.3, para buscar las depresiones, dirección del flujo, y después la acumulación de flujo para determinar los ríos y arroyos. El orden de drenaje se clasificó de acuerdo a la jerarquía

de afluentes según Strhaler (1957), donde cada segmento de un río o arroyo en una red es considerado un nodo en una red de drenaje, y permite inferir algunas características de los arroyos simplemente al conocer el orden. La primer clasificación es el orden 1 que corresponde a los vínculos sin afluentes, al interceptar dos vínculos de orden 1 obtenemos la clasificación de orden 2, a la intercepción de dos vínculos de orden 2 se crea un vínculo de orden 3, y así sucesivamente.

*Ancho de carreteras:* La descripción de las carreteras presentes en el área de estudios se realizó a partir del mapa del Instituto Mexicano del Transporte (<https://www.gob.mx/imt>) y se complementó con la digitalización en pantalla de imágenes de alta resolución (Google Earth Pro) de las carreteras. Posteriormente se rasterizaron las líneas de carreteras trazadas conservando los mismo valores de referencia que la imagen Landsat OLI del 2018 (número de columnas y renglones, y 30 m del tamaño del pixel en la zona UTM 13N). Con base en la anchura de las carreteras se elaboró en las siguientes categorías:

1) Clase 1: 3.5m; 2) Clase 2: 3.5 – 5 m; 3) Clase 3: 5 – 6 m; 4) Clase 4: 6 – 7 m; y 5) Clase 5: 7 – 8 m

Finalmente, se aplicó la fórmula propuesta para calcular la resistencia general, sumando el promedio de los valores de resistencia obtenidas mediante la opinión de expertos para cada variable en el software ArcMap 10.3.

## 2.5 Selección de parches idóneos para *T. canescens* y conectividad funcional

Para la definir parches de selva seca idóneos para mantener poblaciones de *T. canescens* se partió de calcular el área de parche que se requeriría para acomodar una población de 500 individuos, este valor, si bien un tanto arbitrario, se ha propuesto que puede incrementar las posibilidades de supervivencia de una población a largo plazo (Jamieson y Allendorf,

2012). Se calculó la mediana de los valores de abundancia reportados para la especie (Ceballos1989, 1990; Kennedy et al., 2013). Este valor resultó ser 2.6 ind/ha. A partir de este valor se calculó cuantas hectáreas se requieren para mantener una población de 500 individuos. El valor obtenido (193.4 hectáreas) se empleó como mínimo de área para decidir si los parches se consideraban idóneos o no, y si por lo tanto debían ser conectados o no.

El Índice Integral de Conectividad (IIC) y la Probabilidad de Conectividad (PC) se obtuvieron utilizando el software CONEFOR SENSINODE 2.6 Saura & Torné, 2012) que está disponible gratuitamente en línea (<http://www.conefor.org/>). Puesto que el IIC se calcula en la totalidad del paisaje, se presenta el valor porcentual que corresponde a cada parche (dIIC), este valor indica cuánto disminuiría el IIC si el fragmento desapareciera. Adicionalmente para indicar qué parches tienen mayor capacidad de flujo se estimó el índice de flujo (dIICflux). Finalmente para estimar la conectividad que ofrece un parche a todo el paisaje se calcula el índice de conector (dIICconnector).

IIC varía de 0 a 1 y aumenta con la conectividad mejorada. Es dado por:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + n l_{ij}}}{A_L^2}$$

donde n es el número total de nodos en el paisaje, ai y aj son los atributos de los nodos i y j, nlij es el número de enlaces en la ruta más corta (distancia topológica) entre los parches i y j, y AL es el paisaje máximo atributo. Para los nodos que no están conectados (pertenecen a diferentes componentes), el numerador en la ecuación para IIC es igual a cero (nlij = ∞). Cuando i = j, entonces nlij = 0; esto se relaciona con el concepto de

disponibilidad de hábitat que se aplica para IIC, en el cual un parche en sí mismo se considera como un espacio donde existe conectividad. Si el atributo del nodo es área (área de parche de hábitat), entonces  $A_L$  es el área total del paisaje (área de la región analizada, que comprende parches tanto de hábitat como no).  $IIC = 1$  cuando todo el paisaje está ocupado por el hábitat.

El análisis de probabilidad de conectividad (dPC) indica cuánto disminuiría la probabilidad de conectividad si el fragmento desaparece. Adicionalmente para indicar que parches tienen mayor probabilidad de flujo se estimó el índice de probabilidad de flujo (dPCflux). Finalmente para estimar la probabilidad que ofrece un parche a todo el paisaje se calcula la probabilidad de conector (dPCconnector).

La PC varía de 0 a 1 y aumenta con la conectividad mejorada. Está dado por:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot a_j \cdot \rho_{ij}^*}{A_L^2}$$

donde  $n$  es el número total de nodos de hábitat en el paisaje,  $a_i$  y  $a_j$  son los atributos de los nodos  $i$  y  $j$ ,  $A_L$  es el atributo máximo del paisaje (ver sección 6.3), y  $P^*_{ij}$  es la probabilidad máxima del producto de todos los caminos entre parches  $i$  y  $j$ . Una ruta se compone de un conjunto de pasos en los que no se visita ningún nodo más de una vez, donde un paso es un movimiento directo de un dispersor entre dos nodos (sin pasar por ningún otro nodo intermedio). La probabilidad del producto de una ruta es el producto de todos los  $p_{ij}$  que pertenecen a cada paso en esa ruta.  $p^*_{ij}$  se define como la probabilidad máxima del producto de todas las rutas posibles entre los parches  $i$  y  $j$  (incluidas las rutas de un solo paso). Si los nodos  $i$  y  $j$  están lo suficientemente cerca, la ruta de probabilidad máxima será simplemente el movimiento directo entre los nodos  $i$  y  $j$  ( $P^*_{ij} = p_{ij}$ ). Si los

nodos  $i$  y  $j$  están más distantes, la "mejor" ruta (probabilidad máxima) comprenderá varios pasos a través de nodos intermedios que producirán  $p_{ij} > p_{ij}$ .

## 2.6 Construcción del modelo de conectividad funcional

La conectividad funcional del paisaje se calculó a través de 2 aproximaciones: 1) determinación de las rutas de menor costo en el software ArcMap 10.3 y Linkage map, y 2) obtención del flujo de corriente con ayuda del software Circuitscape (v3.5, [www.circuitscape.org](http://www.circuitscape.org)) para conectar los parches idóneos.

Para limitar la longitud de los corredores potenciales obtenidos mediante la ruta de menor costo se consideró el valor de Distancia de Dispersión Máxima (MDD), el cual nos indica cual es la distancia que la especie es capaz de recorrer. El valor de MDD se deriva del ámbito hogareño, y puesto que este dato se desconoce para la especie focal se estimó a partir del promedio de ámbito hogareño de otros géneros similares en masa y cercanos filogenéticamente a *T. canescens* (Tabla 1; Bowman et al., 2002; Melo et al., 2017). Finalmente los corredores biológicos potenciales se limitaron a 10km de ancho (valor que contiene al menos 4 veces el ámbito hogareño de la especie) y a 1904. 7m de longitud.

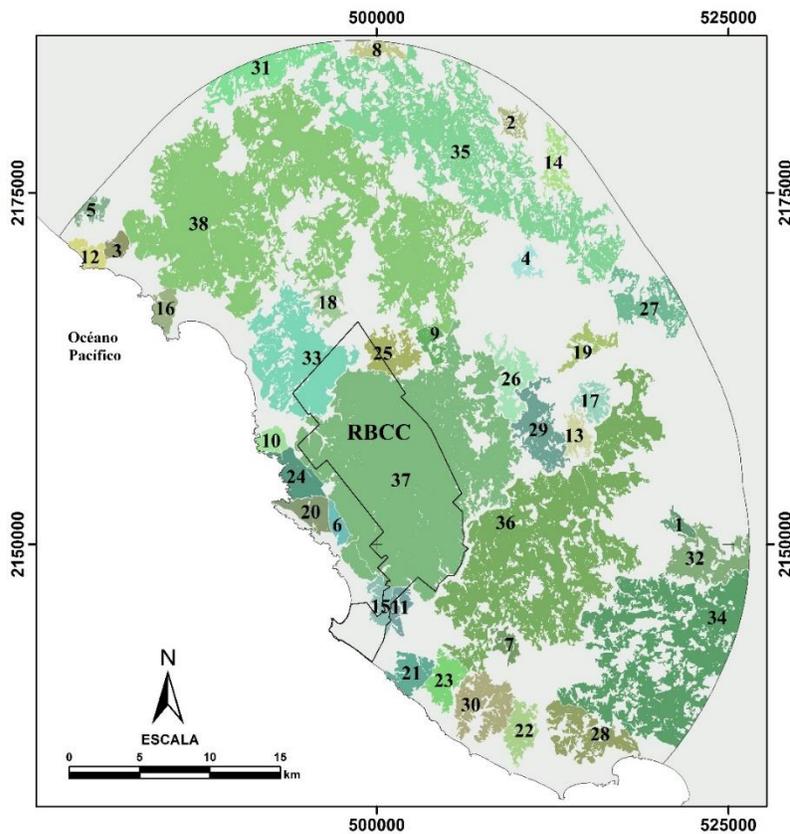
Tabla 1. Valores de ámbito hogareño que se utilizaron para estimar distancia de dispersión máxima (MDD) de *T. canescens*.

Género	Peso corporal (g)	Ámbito hogareño (m <sup>2</sup> )	MDD (m)	Referencia
<i>Marmosa</i>	60	3,800	2,465.6	Melo 2017
<i>Gracilianus</i>	30 – 45	1,800	1,696.8	Olifiers et. al., 2004; Pires et. al., 2010
<i>Monodelphis</i>	83	1,500	1,551.6	Gordon, 2003; Melo et. al., 2017
<b>Promedio</b>		2,366.7	1,904.7	

### 3. Resultados

#### 3.1 Estadísticas de conectividad de los parches idóneos

Se obtuvieron 38 parches idóneos de selva seca, cuya área total equivale a 84,099.8 ha. El parche más pequeño tuvo 197.5 ha, el más grande 18,884 ha, y el tamaño promedio de los parches fue 2,213.2 ha (Figura 2). Dentro del parche 37 (~16,675 ha) se localiza la mayor parte de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (~13,142 ha).



**Figura 2.** Ubicación de los 38 parches idóneos (selva seca mayor a 193.4 hectáreas, que corresponden al área mínima que alberga al menos 500 individuos según los valores de abundancia calculados), así como los parches que conforman el polígono de la RBCC. Colores empleados para diferenciar cada uno de los parches.

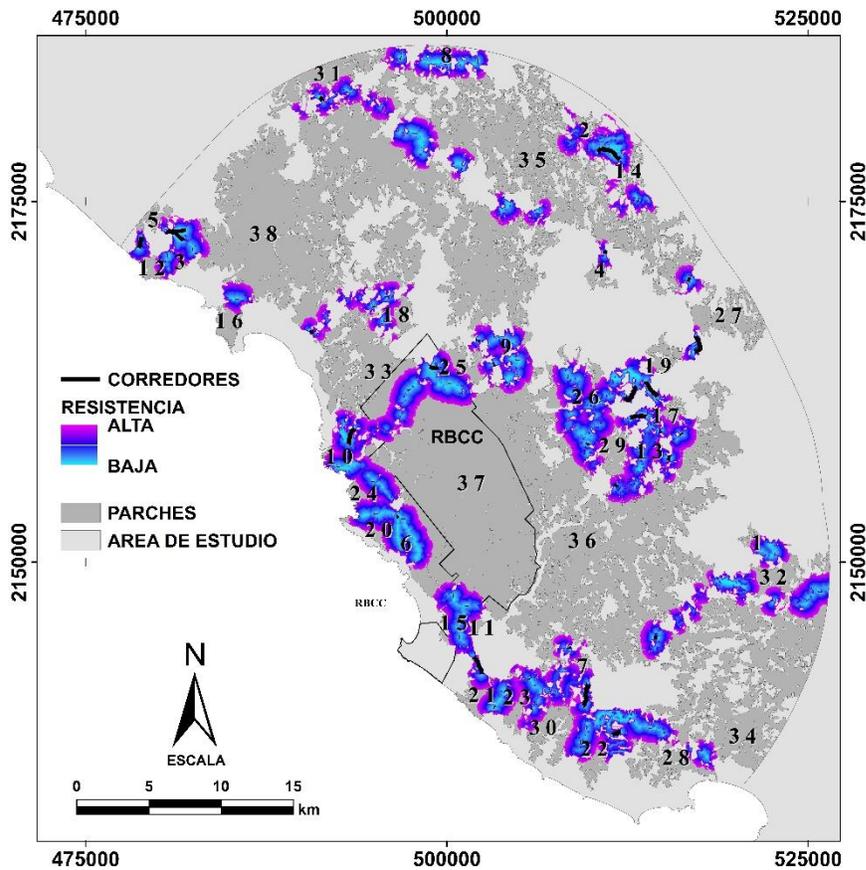
El IIC y PC para los parches se muestran en los Anexo C.1.1 y C 1.2. Los valores más altos obtenidos de dIIC fueron para los parche 38 (45.51), 37 (44.53) y 36 (29.80) que tuvieron las extensiones mayores de selva seca. Los parches 38 (30.69) y 37 (29.98) fueron

los de mayor flujo dIICflux y los parches 36 (5.83) y 38 (5.82) los valores más altos de dIICconnector.

El análisis dPC mostró que los parches 37 (49.03), 38 (49.02) y 36 (33.28) aportaron la mayor conectividad entre parches, y los parches 38 (5.26) y el parche 37 (4.10) ofrecieron el mayor valor de dPCflux. El parche 37 (12.36) que corresponde al parche donde se localiza gran parte de la RBCC tuvo el valor más alto de dPCconnector seguido de los parches 38 (8.71) y 36 (8.3).

### 3.2 Ruta de menor costo para obtener posibles vías de dispersión

Se identificaron 60 corredores potenciales según el cálculo de la ruta de menor costo para los parches (Anexo C.2) los cuales se muestran en la figura 3. La distancia euclidiana promedio entre parches fue de 244.5 m y la ruta de menor costo promedio de 367.5 m. La ruta de menor costo más larga se localizó entre los parches 7 y 30 (1,716 m) y atravesó un área de suelo expuesto. El área menos conectada correspondió a la porción este del área de estudio, donde se presentó un mosaico de remanentes de vegetación combinados principalmente con potreros. Al este del área de estudio las distancias entre la mayoría de los parches exceden la MDD de la especie.

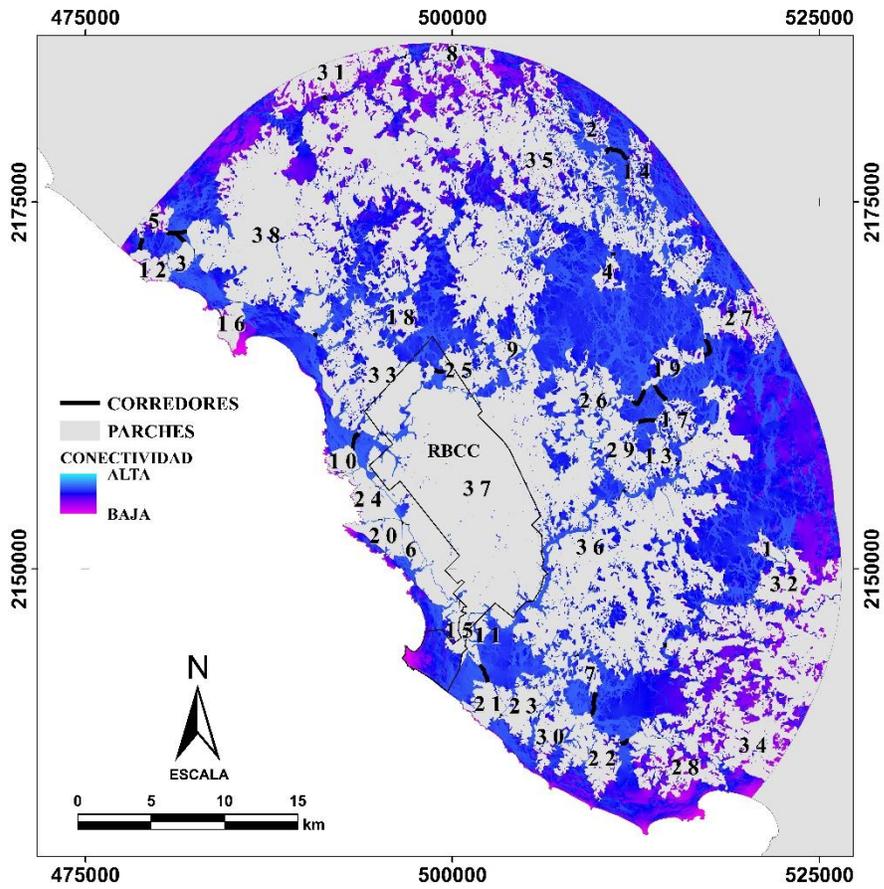


**Figura 3.** Corredores potenciales entre los parches de hábitat idóneos para *T. canescens*.

### 3.3 Flujo de corriente para identificar áreas potenciales para la dispersión de la especie

La modelación de conectividad para los parches idóneos basada en el flujo de corriente muestra mayor probabilidad de flujo alrededor de los parches (Figura 4), principalmente alrededor de los parches más grandes (36, 37 y 38), con una disminución de la probabilidad de flujo en los parches que presentan perforación (28, 32, 34 y 35). Se presenta disminución de flujo al borde por los efectos de corte para limitar el área de estudio.

Es posible observar mayor probabilidad de flujo al oeste del área de estudio, precisamente donde se localiza la RBCC.



**Figura 4.** Modelo de flujo de corriente entre los parches de hábitat idóneo para *T. canescens*. En la escla se muestra el rango de las probabilidades de conectividad.

#### 4 Discusión

El presente trabajo tuvo como objetivo principal analizar el grado de conectividad del hábitat existente entre la RBCC y los remanentes de vegetación a su alrededor usando a *T. canescens* como especie modelo. Nuestros resultados indican que tres parches de hábitat (38, 37 y 36) son los que aportan mayor conectividad al paisaje, siendo el 37 el que incluye una mayor porción del polígono de la RBCC. La RBCC presenta una serie de elementos naturales (ríos) que pueden actuar como barreras para la dispersión de distintas especie así mismo existen distintas estructuras y rasgos del paisaje derivados de la actividad humana (como las carreteras y caminos) así como cambios de uso de suelo que disminuyen y fragmentan la cobertura de selva seca y aíslan la RBCC. Nuestros resultados sugieren que estos rasgos del paisaje tienen el potencial de restringir la dispersión para *T. canescens*.

Las ANP son unos de los esfuerzos que mayor atención han focalizado para conservar la biodiversidad (Bruner et al. 2001). Sin embargo, para que las ANP no funcionen como “islas de conservación” se requiere que mantengan una buena conectividad con su entorno (Ricketts, 2001; Calabrese y Fagan 2004). La modelación de la conectividad funcional realizada para el área de estudio muestra la importancia que los parches adyacentes a la RBCC ofrecen en el paisaje. La mayor conectividad funcional se concentra al oeste del área de estudio donde se localizan los parches 36, 37 y 38, cuyos valores de IIC y PC son los más altos. Dentro del parche 37 se localiza la mayor parte de la RBCC. Los resultados de este estudio muestran que no hay corredores potenciales que conecten directamente la RBCC con los parches 36 y 38, ya que los ríos Chamela y Cuixmala aparecen como barreras de dispersión. Según los flujos de corriente se presenta una alta probabilidad de conectividad alrededor de los parches, aunque se presenten pocos

corredores potenciales que conecten la RBCC con otros parches (Anexo D). La presencia de los parches con mayor extensión muy próximos a las RBCC favorece la conectividad funcional del paisaje. No obstante es importante evidenciar que no obtuvimos ningún corredor potencial que conecte de forma directa a la RBCC con el parche 36 y parche 38, dichos parches corresponde a unos de los parches con mayor extensión y valores más altos de ICC y IPC. Por lo que los parches intermediarios (parche 33 y parche 29) pueden considerarse como elementos importantes para mantener la conectividad funcional del área de estudio.

El área oeste posee los parches con mayor extensión y continuidad, así como la presencia de la mayor parte de posibles vías de dispersión a larga distancia y mayor probabilidad de flujo de individuos. En esta área se presenta un riesgo potencial de pérdida de conectividad, puesto que se sitúa la principal vía de transporte y múltiples carreteras secundarias que pueden reducir la dispersión (Forman, 1998; Decout et al., 2012) y causar alta mortalidad (Harmusch, 2015). Investigaciones previas han demostrado, mediante experimentos, que mamíferos pequeños que son trasladados de su hábitat regresan a su sitio de origen, la mayoría de las veces evitando atravesar las carreteras (Oxley et al., 1974; Kozel & Fleharty, 1979; Mader, 1984; Merriam et al., 1989).

En contraste, al noreste del área de estudio en el parche 33, 18 y 35, y al sur en los parches 28, 32 y 34 se presenta un alto riesgo de disminución de conectividad mediante un proceso de perforación al interior de los parches que conduce a la reducción de los fragmentos, y por ende, a la fragmentación del paisaje en esta área, lo que resulta en pérdida de hábitat original y aislamiento. Este proceso que modifica la calidad del hábitat afecta la dispersión de las poblaciones, provocando un modelo de Fuente-Sumidero

(Pulliam, 1988), donde las poblaciones se ven obligadas a atravesar espacios transformados para moverse entre los parches. Lo anterior, provoca el aislamiento de las poblaciones locales a largo plazo. En el mismo sentido, debido a que los individuos tienen limitaciones de dispersión la matriz resulta desfavorable para su desplazamiento, puesto que las especies tienen determinada capacidad para cruzar distancias con condiciones inadecuadas.

Asimismo, según la MDD calculada para la especie, al noreste del área de estudio por la pérdida de hábitat se encuentra un área con baja conectividad por el aislamiento de los parches (ejemplo parche 4 y 19) y la resistencia del paisaje por la presencia de extensas áreas de agrosistemas, principalmente potreros. Algunos estudios han demostrado que los agrosistemas tiene efectos negativos en las especies especialistas en hábitat mientras que favorece especies generalistas de hábitat (de la Peña et al., 2003). Habría que destacar que la sensibilidad a la fragmentación varía entre las poblaciones en respuesta a los requerimientos de hábitat y biología de las especies. Si bien se ha demostrado que especies de pequeños mamíferos son capaces de atravesar áreas con cobertura y uso de suelo desfavorables, no necesariamente pueden habitar este tipo de coberturas, al menos no a largo plazo (Birney et al., 1976; Ruefenacht & Knight 1995), las especies que poseen requerimientos de hábitat específicos, fuentes de alimento específicos, hábitats estacionales son más propensas al aislamiento y eventualmente a la extinción de sus poblaciones (Henle et al., 2004).

Por otra parte, la asignación de resistencia a las variables durante la modelación de conectividad funcional a menudo se construye con base al conocimiento por expertos, se reconoce que hay una carencia de evidencia empírica o biológica en la construcción de los modelo de resistencia de superficie (Zeller et al., 2012; Wade et al., 2015), y ya que el

modelo de conectividad funcional requiere del conocimiento de los patrones de movimiento de las especies de interés, se vuelve un reto puesto que se desconocen los patrones de movimiento de la mayoría de las especies de mamíferos pequeños (Wikelski et al., 2007). El flujo de corriente derivado de la teoría de circuitos proporciona una herramienta útil en la modelación de conectividad funcional del paisaje para especies donde se carece de valores de movimiento reales, pues representa como los animales perciben la permeabilidad y la resistencia a largo plazo en términos de flujo génico (McRae & Beier 2007) y a corto plazo con el desplazamiento de individuos de un punto a otro (McRae et al., 2008). Los modelos derivados de la teoría de circuitos complementaron los modelos de la ruta de menor costo pues ofrecen múltiples trayectorias por donde pueden dispersarse los organismos, lo cual es útil para la conservación de las especies (McRae et al., 2008; Cushman et al., 2013). Particularmente para mamíferos pequeños se ha demostrado la utilidad de la teoría de circuitos para identificar posibles rutas de dispersión (Merrick & Koprowski., 2017). Es urgente evaluar la conectividad del paisaje circundante a las ANP desde la perspectiva de los mamíferos ya que el 25% de sus poblaciones están categorizados en amenaza de extinción, y las poblaciones del 52% de los mamíferos conocidos están en declive, incluyendo especies categorizados como “preocupación menor” (Schipper et al., 2008), en consecuencia al aumento de la fragmentación y pérdida de hábitat (Theobald et al., 2012). No obstante, el modelo de conectividad funcional sugerido podría beneficiar a un conjunto de poblaciones de pequeños mamíferos que comparten hábitat con *T. canescens* (Anexo E), los cuales se han registrado en la RBCC y comparten historias de vida y funciones ecológicas similares (Ceballos & Miranda. 2000; Wilson & Reeder, 2005).

Para la gestión del paisaje es necesario conocer los patrones de movimiento de animales como los pequeños mamíferos (Wikelski et al., 2007; Zeller et al., 2012). Sugerimos implementar técnicas de telemetría para validar y refinar el modelo de conectividad (Stevenson-Holt et al., 2014), con la finalidad de promover favorecer que se pueda mantener la capacidad de la dispersión de los pequeños mamíferos sumamente importantes para mantener el funcionamiento de los sistemas ecológicos (Merrick et al., 2017).

## 5 Referencias

- Adriaensen, F., Chardon, J. P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H., & Matthysen, E. (2003). The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and urban planning*, 64(4), 233-247.
- Beier, P., Majka, D. R., & Newell, S. L. (2009). Uncertainty analysis of least-cost modeling for designing wildlife linkages. *Ecological Applications*, 19(8), 2067-2077.
- Bennett, G. (2004). Integrating biodiversity conservation and sustainable use: lessons learned from ecological networks. IUCN Commission on Ecosystem Management & Syzygy
- Birney, E. C., Grant, W. E., & Baird, D. D. (1976). Importance of vegetative cover to cycles of *Microtus* populations. *Ecology*, 57(5), 1043-1051.
- Bowman, J., Jaeger, J. A., & Fahrig, L. (2002). Dispersal distance of mammals is proportional to home range size. *Ecology*, 83(7), 2049-2055.
- Bruner, A. G., Gullison, R. E., Rice, R. E., & Da Fonseca, G. A. (2001). Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science*, 291(5501), 125-128.
- Calabrese, J. M., & Fagan, W. F. (2004). A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(10), 529-536.
- Ceballos, G. (1989). Population and community ecology of small mammals in a tropical deciduous forest in western Mexico. Ph.D. dissertation, University of Arizona, Tucson, 158 pp.
- Ceballos, G. (1990). Comparative natural history of small mammals from tropical forest in western Mexico. *Journal of Mammalogy* 71:263-266.
- Ceballos, G., & Miranda, A. (2000). Guía de campo de los mamíferos de la Costa de Jalisco, México= A field guide to the mammals of the Jalisco Coast, Mexico (No. QL722 C42).
- Ceballos, G., Martínez, L., García, A., & Espinoza, E. (2010). Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México (No. 333.7509 C4.).
- Correa-Ayram. A. C., Mendoza, M. E., Salicrup, D. R. P., & Granados, E. L. (2014). Identifying potential conservation areas in the Cuitzeo Lake basin, Mexico by

- multitemporal analysis of landscape connectivity. *Journal for nature conservation*, 22(5), 424-435.
- Corry, R. C. (2005). Characterizing fine-scale patterns of alternative agricultural landscapes with landscape pattern indices. *Landscape Ecology*, 20(5), 591-608.
- Cushman, S. A., McRae, B., Adriaensen, F., Beier, P., Shirley, M., & Zeller, K. (2013). Biological corridors and connectivity [Chapter 21]. In: Macdonald, DW; Willis, KJ, eds. *Key Topics in Conservation Biology 2*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell. p. 384-404., 384-404.
- De Clerck, F. A., Chazdon, R., Holl, K. D., Milder, J. C., Finegan, B., Martinez-Salinas, A., ... & Ramos, Z. (2010). Biodiversity conservation in human-modified landscapes of Mesoamerica: Past, present and future. *Biological conservation*, 143(10), 2301-2313.
- De la Peña, N. M., Butet, A., Delettre, Y., Paillat, G., Morant, P., Le Du, L., & Burel, F. (2003). Response of the small mammal community to changes in western French agricultural landscapes. *Landscape Ecology*, 18(3), 265-278.
- Decout, S., Manel, S., Miaud, C., & Luque, S. (2012). Integrative approach for landscape-based graph connectivity analysis: a case study with the common frog (*Rana temporaria*) in human-dominated landscapes. *Landscape ecology*, 27(2), 267-279.
- Dirzo, R., Young, H. S., Mooney, H. A., & Ceballos, G. (2011). *Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation*. Island Press.
- Dorado, O., B. Maldonado, D.M. Arias, V. Sorani, R. Ramírez, E. Leyva y D. Valenzuela. (2005). Plan de manejo y conservación de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de la Semarnat. México, D.F.
- Forman, R. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*, 29(1), 207-231.
- Garmendía, A., Arroyo-Rodríguez, V., Estrada, A., Naranjo, E. J., & Stoner, K. E. (2013). Landscape and patch attributes impacting medium-and large-sized terrestrial mammals in a fragmented rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 29(4), 331-344.
- Ghazoul, J. (2005). Pollen and seed dispersal among dispersed plants. *Biological Reviews*, 80(3), 413-443.

- Gordon, C. L. (2003). A first look at estimating body size in dentally conservative marsupials. *Journal of Mammalian Evolution*, 10(1-2), 1-21.
- Guevara, S., & Halffter, G. (2007). Estrategia para la conservación de la diversidad biológica en áreas protegidas de designación internacional: La síntesis. Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica, 6.
- Halffter, G. (2011). Reservas de la biosfera: problemas y oportunidades en México. *Acta zoológica mexicana*, 27(1), 177-189.
- Harmusch Asociación de estudio y conservación de la fauna (2015). Asesoramiento técnico para la reducción de los atropellos de nutria *Lutra lutra* en un punto negro de la carretera N-401 (Peralvillo, Ciudad Real) (online). Disponible en: <https://harmusch.wordpress.com/nutrias-en-ciudad-real/> (Visitado el 20/03/19).
- Henle, K., Davies, K. F., Kleyer, M., Margules, C., & Settele, J. (2004). Predictors of species sensitivity to fragmentation. *Biodiversity & Conservation*, 13(1), 207-251.
- Hoekstra, J. M., Boucher, T. M., Ricketts, T. H., & Roberts, C. (2005). Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology letters*, 8(1), 23-29.
- Howe, H. F., & Smallwood, J. (1982). Ecology of seed dispersal. *Annual review of ecology and systematics*, 13(1), 201-228.
- Jamieson, I. G., & Allendorf, F. W. (2012). How does the 50/500 rule apply to MVPs?. *Trends in ecology & evolution*, 27(10), 578-584.
- Jamieson, I. G., & Allendorf, F. W. (2012). How does the 50/500 rule apply to MVPs?. *Trends in ecology & evolution*, 27(10), 578-584.
- Janzen, DH (1988). Bosques tropicales secos. *Biodiversidad*, 130-137.
- Kennedy, M. L., Schnell, G. D., de Lourdes Romero-Almaraz, M., Malakouti, B. S., Sánchez-Hernández, C., Best, T. L., & Wooten, M. C. (2013). Demographic features, distribution, and habitat selection of the gray mouse opossum (*Tlacuatzin canescens*) in Colima, Mexico. *Acta theriologica*, 58(3), 285-298.
- Kozel, R. M., & Fleharty, E. D. (1979). Movements of rodents across roads. *The Southwestern Naturalist*, 239-248.
- Lobova, T. A., Geiselman, C. K., & Mori, S. A. (2009). Seed dispersal by bats in the Neotropics. New York Botanical Garden.

- Lovegrove, B. G., Körtner, G., & Geiser, F. (1999). The energetic cost of arousal from torpor in the marsupial *Sminthopsis macroura*: benefits of summer ambient temperature cycles. *Journal of Comparative Physiology B*, 169(1), 11-18.
- Mader, H. J. (1984). Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. *Biological conservation*, 29(1), 81-96.
- Masera, O. R., Ordóñez, M. J., & Dirzo, R. (1997). Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic change*, 35(3), 265-295.
- McRae, B. H., & Beier, P. (2007). Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19885-19890.
- McRae, B. H., Dickson, B. G., Keitt, T. H., & Shah, V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10), 2712-2724.
- Melo, G. L., Sponchiado, J., Cáceres, N. C., & Fahrig, L. (2017). Testing the habitat amount hypothesis for South American small mammals. *Biological Conservation*, 209, 304-314.
- Merriam, G., Kozakiewicz, M., Tsuchiya, E., & Hawley, K. (1989). Barriers as boundaries for metapopulations and demes of *Peromyscus leucopus* in farm landscapes. *Landscape Ecology*, 2(4), 227-235.
- Merrick, M. J., & Koprowski, J. L. (2017). Circuit theory to estimate natal dispersal routes and functional landscape connectivity for an endangered small mammal. *Landscape ecology*, 32(6), 1163-1179.
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., ... & Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), 491-505.
- Olifiers, N., Vieira, M. V., & Grelle, C. E. V. (2004). Geographic range and body size in Neotropical marsupials. *Global Ecology and Biogeography*, 13(5), 439-444.
- Oxley, D. J., Fenton, M. B., & Carmody, G. R. (1974). The effects of roads on populations of small mammals. *Journal of Applied Ecology*, 51-59.

- Pires, M. M., Martins, E. G., Silva, M. N. F., & Dos Reis, S. F. (2010). *Gracilinanus microtarsus* (Didelphimorphia: Didelphidae). *Mammalian Species*, 42(851), 33-40.
- Pulliam, H. R. (1988). Sources, sinks, and population regulation. *The American Naturalist*, 132(5), 652-661.
- Ricketts, T. H. (2001). The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *The American Naturalist*, 158(1), 87-99.
- Ruefenacht, B., & Knight, R. L. (1995). Influences of corridor continuity and width on survival and movement of deermice *Peromyscus maniculatus*. *Biological conservation*, 71(3), 269-274.
- Sánchez-Azofeifa, G. A., Quesada, M., Rodríguez, J. P., Nassar, J. M., Stoner, K. E., Castillo, A., ... & Fajardo, L. (2005). Research priorities for Neotropical dry forests 1. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*, 37(4), 477-485.
- Saura, S., & Torné, J. (2012). Conefor 2.6 user manual. Universidad Politécnica de Madrid.
- Schipper, J., Chanson, J. S., Chiozza, F., Cox, N. A., Hoffmann, M., Katariya, V., ... & Baillie, J. (2008). The status of the world's land and marine mammals: diversity, threat, and knowledge. *Science*, 322(5899), 225-230.
- 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 especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio—lista de especies en riesgo
- Stevenson-Holt, C. D., Watts, K., Bellamy, C. C., Nevin, O. T., & Ramsey, A. D. (2014). Defining landscape resistance values in least-cost connectivity models for the invasive grey squirrel: a comparison of approaches using expert-opinion and habitat suitability modelling. *PloS one*, 9(11), e112119.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
- Theobald, D. M., Reed, S. E., Fields, K., & Soule, M. (2012). Connecting natural landscapes using a landscape permeability model to prioritize conservation activities in the United States. *Conservation Letters*, 5(2), 123-133.
- Trejo, I., & Dirzo, R. (2002). Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity & conservation*, 11(11), 2063-2084.

- Wade, A. A., McKelvey, K. S., & Schwartz, M. K. (2015). Resistance-surface-based wildlife conservation connectivity modeling: Summary of efforts in the United States and guide for practitioners. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-333. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 93 p., 333.
- Wikelski, M., Kays, R. W., Kasdin, N. J., Thorup, K., Smith, J. A., & Swenson, G. W. (2007). Going wild: what a global small-animal tracking system could do for experimental biologists. *Journal of Experimental Biology*, 210(2), 181-186.
- Wilson, D. E., & Reeder, D. M. (Eds.). (2005). *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference* (Vol. 1). JHU Press.
- Zeller, K. A., McGarigal, K., & Whiteley, A. R. (2012). Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape ecology*, 27(6), 777-797.

## 6 Anexos

### Anexo A

#### Material de apoyo para las encuestas

Nombre:

Unidad académica:

Con el objetivo de obtener elementos que mejoren el criterio para modelar la conectividad del paisaje se ha elaborado la siguiente encuesta que consiste en asignar valores de resistencia en una escala de 1 a 100 a la clasificación de cobertura y uso de suelo, así como a los elementos que componen el paisaje. Los valores más altos se asignarían a los elementos que ofrecen mayor resistencia a la especie en cuestión, es decir aquellos que la especie no es capaz de atravesar, por el contrario los valores más bajos serían asignados a aquellos elementos en el que la especie es capaz de desplazarse sin problemas.

La especie focal es un pequeño marsupial conocido como Ratón-tlacuache (*Tlacuatzin canescens*) el cual tiene hábitos arborícolas y es nocturno). Tiene una longitud de 260 a 310mm y pesa 20 a 60g. Es endémico de México y se distribuye principalmente en la costa del pacífico mexicano. Se alimenta principalmente de insectos, frutos silvestres, pequeños vertebrados (como geckos) y huevos de algunas aves silvestres.



Figura 1. *Tlacuatzin canescens*.

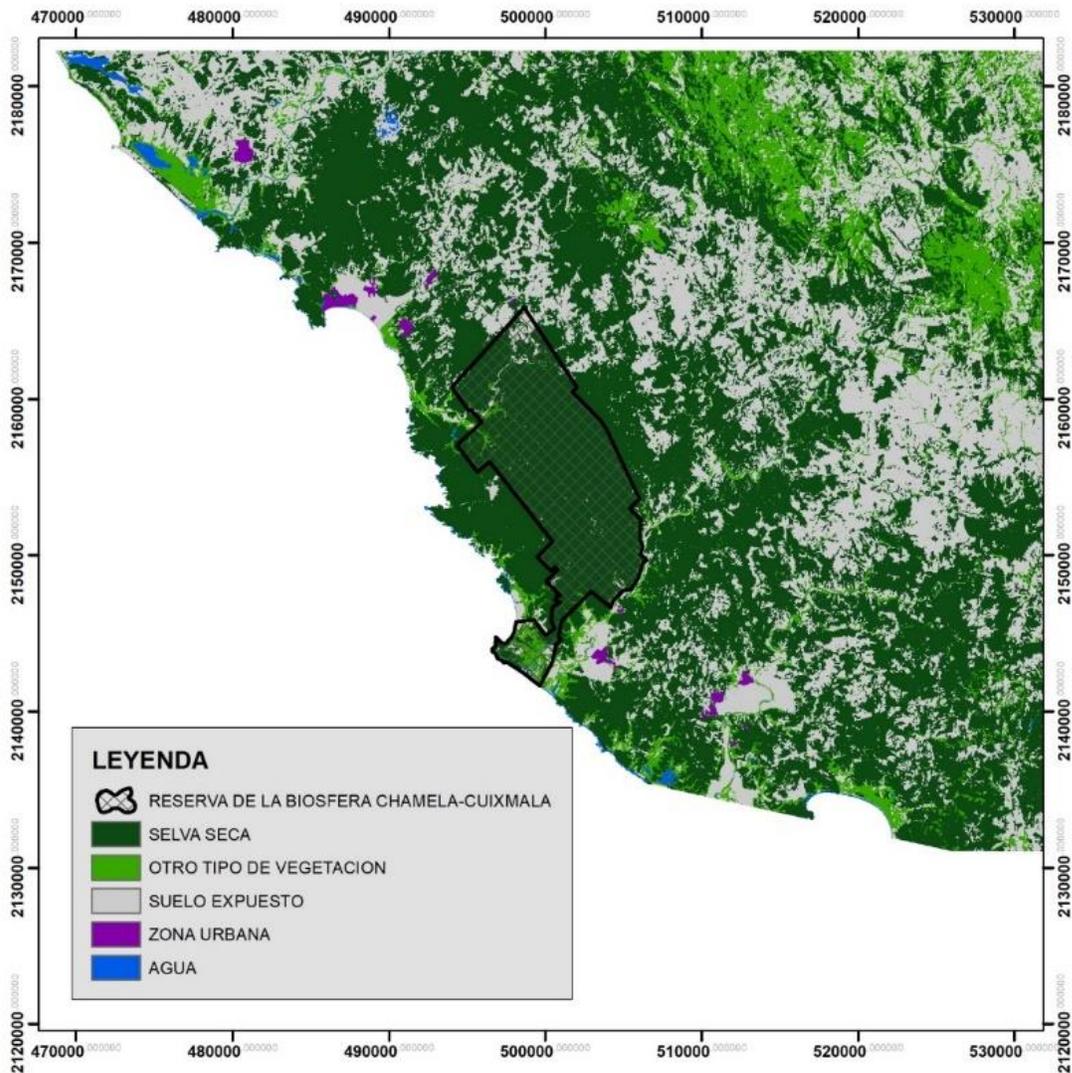
En la siguiente tabla por favor asignar los valores de resistencia.

Tabla de valores de resistencia (1 a 100, siendo 1 el elemento de menor resistencia y 100 mayor resistencia)

	VALORES DE RESISTENCIA				
VARIABLES					
Vegetación actual					
1. Agua					
2. Vegetación: Selva seca					
3. Suelo expuesto					

4. Vegetación: Manglar/Bosque					
5. Zona rural					
Carreteras (ancho en metros)					
7 a 8					
6 a 7					
5 a 6					
3.5 a 5					
3.50					
Pendiente (grados)					
0 a 5					
5 a 10					
10 a 30					
30 a 65					
Orden de drenaje (categorías)					
1					
2					
3					
4					

A.1. Encuesta dirigida a expertos.



A.2. Figura que muestra la vegetación y uso de suelo del área de estudio, así como la ubicación de la Reserva de la Biosfera Chamela Cuixmala, al sur de la costa del Estado de Jalisco, México).

## Anexo B

### Valores de resistencia asignados por los expertos

Variables	Valores de resistencia				
	1	2	3	4	promedios
<b>Vegetación actual</b>					
1. Agua	100	100	70	80	87.5
2. Vegetación: Selva seca	1	10	1	1	3.3
3. Suelo expuesto	85	80	50	70	71.3

<b>4.Vegetación: Manglar/Bosque</b>	10	10	1	55	19
<b>5. Zona rural</b>	95	90	80	90	88.8
<b>Carreteras (ancho en metros)</b>					
<b>7 a 8</b>	97	80	50	80	76.8
<b>6 a 7</b>	96	80	50	80	76.5
<b>5 a 6</b>	94	80	45	80	74.8
<b>3.5 a 5</b>	92	80	30	60	65.5
<b>3.50</b>	90	60	30	20	50.0
<b>Pendiente (grados)</b>					
<b>0 a 5</b>	1	10	1	10	5.5
<b>5 a 10</b>	5	10	1	10	6.5
<b>10 a 30</b>	15	10	1	10	9
<b>30 a 65</b>	25	20	1	20	16.5
<b>Orden de drenaje (categorías)</b>					
<b>1</b>	85	100	70	-	85.0
<b>2</b>	90	100	80	-	90.0
<b>3</b>	99	100	90	-	96.3
<b>4</b>	100	100	90	-	96.7

B.1. Tabla de valores de resistencia asignados por los expertos encuestados y promedios utilizados para la modelación de la matriz de resistencia.

<b>Experto encuestado</b>	<b>Correo electronico</b>
Biol. Ariana González Cejudo	bio.ariana88@gmail.com
Dr. José Antonio Guerrero Enríquez	aguerrero@uaem.mx
Dra. Areli Rizo Aguilar	areli.rizo@uaem.mx
Dr. Luis Ignacio Iñiguez Dávalos	liniguez@cucsur.udg.mx

B.2. Listado de expertos encuestados y medios de contacto.

## Anexo C.

### Resultados del análisis de conectividad

ID	Área (ha)	dIIC	dIICflux	dIICconnector
1	197.5283	0.2525667	0.2513514	0
2	210.02	0.3068208	0.3054259	0
3	231.3368	0.403542	0.4018689	0
4	233.4345	0.3388149	0.3371051	0
5	239.8104	0.4189539	0.4171507	0
6	246.6202	0.4374884	0.4355947	0
7	258.0478	0.4215425	0.4194466	0
8	284.6479	0.4161298	0.4135989	0
9	298.8118	0.6120529	0.6092523	0
10	299.2223	0.5450472	0.5422397	0
11	308.047	0.6115139	0.608514	0
12	324.3885	0.4208983	0.4175925	0
13	363.715	0.5953941	0.5912449	0
14	382.8642	0.5543202	0.5497674	0
15	387.2075	0.6940537	0.689349	0
16	387.5434	0.6750299	0.6703164	0
17	407.479	0.6817331	0.6765488	0
18	412.2823	0.7352112	0.7298626	0
19	416.111	0.9358305	0.7208133	0.2095937
20	550.0677	0.9833775	0.9738854	0
21	582.74	0.9539946	0.9419907	0.0013508
22	619.8193	0.8721861	0.8527562	0.0073291
23	666.707	1.096323	1.08236	0
24	680.5132	1.217535	1.202994	0
25	800.6973	1.666273	1.64625	0
26	841.2523	1.524887	1.502693	0
27	1076.2619	1.821043	1.737954	0.0467861
28	1167.0455	1.607261	1.564405	0
29	1174.4285	2.354176	2.30931	0.0015994
30	1198.309	1.982436	1.934308	0.0030058
31	1264.9008	2.351887	2.301635	0
32	1295.2822	2.459891	2.163982	0.2433599
33	3559.2339	7.447917	7.048954	0.0006458
34	7091.0235	12.52128	10.69175	0.24967
35	8794.8921	17.70899	14.11422	1.171357
36	11288.1327	<b>29.80825</b>	19.97554	<b>5.837636</b>

<b>37</b>	16675.3399	<b>44.53099</b>	<b>29.98024</b>	<b>5.828542</b>
<b>38</b>	18884.0209	<b>45.51214</b>	<b>30.69095</b>	3.62529

C.1.1. Tabla de Índice de conectividad (IIC) para los parches idoneos.

<b>ID</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>dPC</b>	<b>dPCflux</b>	<b>dPCconnector</b>
<b>1</b>	197.5283	0.4388293	0.4382578	0.0000001
<b>2</b>	210.02	0.4675045	0.4668486	0.0000001
<b>3</b>	231.3368	1.021966	0.5493726	0.4718068
<b>4</b>	233.4345	0.5184225	0.5176186	0.0000001
<b>5</b>	239.8104	0.4301429	0.429295	0.0000001
<b>6</b>	246.6202	0.5871673	0.5862768	0.0000001
<b>7</b>	258.0478	0.6062208	0.6052352	0.0000001
<b>8</b>	284.6479	0.6783806	0.6771905	0.0000001
<b>9</b>	298.8118	0.717613	0.716296	0.0000001
<b>10</b>	299.2223	0.709133	0.7078127	0.0000001
<b>11</b>	308.047	0.7393045	0.7378939	0.0000001
<b>12</b>	324.3885	0.8307855	0.7677392	0.0614918
<b>13</b>	363.715	0.8699943	0.8530555	0.0149877
<b>14</b>	382.8642	0.903067	0.9009261	0.0000001
<b>15</b>	387.2075	0.9236816	0.9214692	0.0000001
<b>16</b>	387.5434	0.9216836	0.9194671	0.0000001
<b>17</b>	407.479	0.9481609	0.9436342	0.0020889
<b>18</b>	412.2823	1.023868	0.9805333	0.0408201
<b>19</b>	416.111	0.7866125	0.7840621	0.0000001
<b>20</b>	550.0677	1.304462	1.299961	0.0000377
<b>21</b>	582.74	1.368185	1.363175	0.0000001
<b>22</b>	619.8193	1.447196	1.441506	0.0000001
<b>23</b>	666.707	1.987903	1.565037	0.4162997
<b>24</b>	680.5132	1.724024	1.614773	0.1024128
<b>25</b>	800.6973	1.911357	1.901941	0.0000001
<b>26</b>	841.2523	1.993987	1.98355	0.0000001
<b>27</b>	1076.2619	2.488126	2.449306	0.0217488
<b>28</b>	1167.0455	2.622402	2.602249	0.0000001
<b>29</b>	1174.4285	2.787081	2.729505	0.0372302
<b>30</b>	1198.309	3.117982	2.79344	0.3033241
<b>31</b>	1264.9008	2.991889	2.968259	0.0000001
<b>32</b>	1295.2822	3.127542	2.874448	0.228383
<b>33</b>	3559.2339	8.321608	8.134303	0.0000001
<b>34</b>	7091.0235	17.03557	14.66353	1.629134

<b>35</b>	8794.8921	22.50475	18.86193	2.503238
<b>36</b>	11288.1327	<b>33.28465</b>	23.10148	<b>8.304525</b>
<b>37</b>	16675.3399	<b>49.03554</b>	<b>32.07012</b>	<b>12.86388</b>
<b>38</b>	18884.0209	<b>49.02106</b>	<b>35.04118</b>	<b>8.715105</b>

C.1.2. Tabla de Probabilidad de conectividad de los parches idoneos.

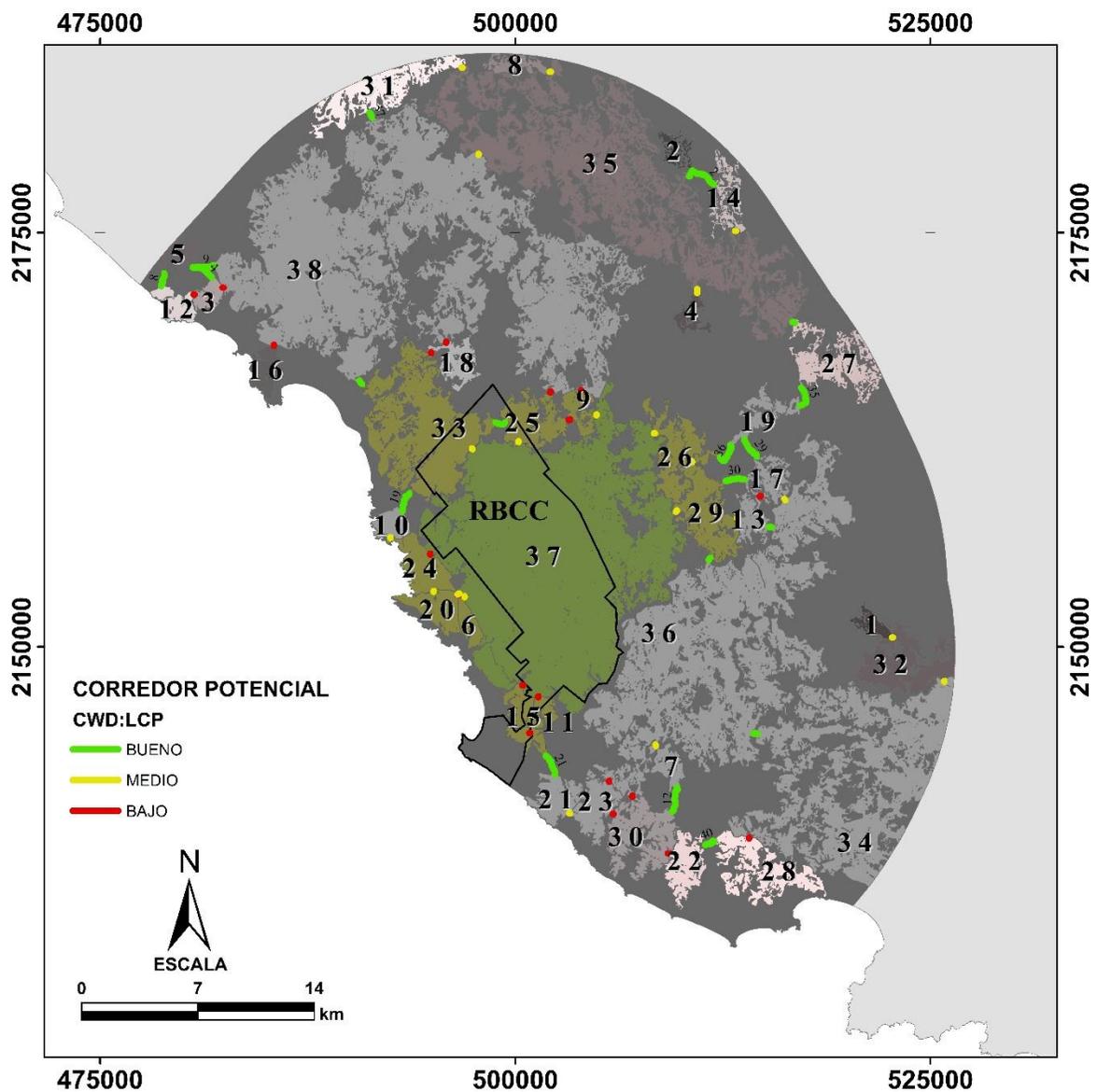
<b>Parche 1</b>	<b>Parche 2</b>	<b>Distancia Euclidiana (EucD, m)</b>	<b>Costo de Distancia ponderado (CWD, m)</b>	<b>Ruta de menor costo (LCP, m)</b>	<b>CWD: EucD</b>	<b>CWD: LCP</b>
<b>1</b>	32	32	1020	60	31.88	17
<b>2</b>	35	221	5255.88	422	23.78	12.45
<b>2</b>	14	1265	16704.06	1660	13.2	10.06
<b>3</b>	12	13	2190	60	168.46	36.5
<b>3</b>	38	30	2430	60	81	40.5
<b>3</b>	5	1209	21164.91	1485	17.51	14.25
<b>4</b>	35	216	17985	240	83.26	74.94
<b>5</b>	12	769	23767.6	896	30.91	26.53
<b>5</b>	38	1316	22995.14	1521	17.47	15.12
<b>6</b>	20	24	2160	60	90	36
<b>6</b>	37	25	1320	60	52.8	22
<b>7</b>	36	36	2086.25	102	57.95	20.45
<b>7</b>	30	1044	19614.03	1716	18.79	11.43
<b>8</b>	35	14	1020	60	72.86	17
<b>9</b>	37	20	1020	60	51	17
<b>9</b>	38	21	2160	60	102.86	36
<b>9</b>	25	67	5700.55	102	85.08	55.89
<b>10</b>	24	19	1320	60	69.47	22
<b>10</b>	33	982	27525.43	1324	28.03	20.79
<b>11</b>	15	29	2160	60	74.48	36
<b>11</b>	37	23	2565	60	111.52	42.75
<b>11</b>	21	1059	37908.25	1398	35.8	27.12
<b>13</b>	29	7	1485	60	212.14	24.75
<b>13</b>	17	65	5520.55	102	84.93	54.12
<b>13</b>	36	143	3466.17	217	24.24	15.97
<b>14</b>	35	33	990	60	30	16.5
<b>15</b>	37	28	2160	60	77.14	36
<b>16</b>	38	33	2160	60	65.45	36
<b>17</b>	36	72	2518.42	114	34.98	22.09
<b>17</b>	29	1079	22222.49	1226	20.6	18.13
<b>17</b>	19	1263	29271.42	1473	23.18	19.87

18	33	8	2385	60	298.13	39.75
18	38	32	1785	60	55.78	29.75
19	27	546	22212.16	1488	40.68	14.93
19	29	686	22456.09	1550	32.73	14.49
20	24	14	1320	60	94.29	22
20	37	66	4325.88	114	65.54	37.95
21	23	10	1188.82	72	118.88	16.51
22	30	30	2160	60	72	36
22	28	568	36204.36	741	63.74	48.86
23	30	22	2250	60	102.27	37.5
23	36	17	2160	60	127.06	36
24	37	27	2160	60	80	36
25	37	17	1050	60	61.76	17.5
25	38	31	2843.45	72	91.72	39.49
25	33	375	8627.79	686	23.01	12.58
26	37	39	1590	60	40.77	26.5
26	29	39	1655.51	72	42.45	22.99
27	35	116	5869.04	199	50.6	29.49
28	34	18	2160	60	120	36
29	37	78	3140.44	114	40.26	27.55
29	36	183	6107.53	199	33.37	30.69
30	36	18	2190	60	121.67	36.5
31	35	26	1261.25	72	48.51	17.52
31	38	119	7229.07	386	60.75	18.73
32	34	20	1050	60	52.5	17.5
33	37	49	1231.25	72	25.13	17.1
33	38	188	8333.04	272	44.32	30.64
34	36	162	6664.81	264	41.14	25.25
35	38	11	1020	60	92.73	17

C.2. Tabla ruta de menor costo calculada para los parches idoneos. Variables: EucD: distancia en línea recta, medida en metros. Calcula la distancia hasta el origen más cercano para cada celda; CWD: calcula la distancia hasta el origen más cercano para cada celda, minimizando el coste especificado en una superficie de coste, medido en metros; LCP: calcula la ruta de menor coste desde un origen hasta un destino, minimizando el coste especificado en una superficie de coste.

## Anexo D

### Conectividad de la RBCC con otros parches



D. Conectividad de los parches que componen a la RBCC con otros parches (ilustrados en tonos verdes), mostrando la calidad de los corredores según la resistencia que ofrecen. Corredor potencial bajo indica alta resistencia, corredor potencial bueno indica baja resistencia.

## Anexo E

### Listado de mamíferos

Clasificación taxonómica	Nombre común	Nombre común en inglés	NOM059-ECOL-2010
<b>Orden: Cingulata</b>			
<b>Familia: Dasypodidae</b>			
<i>Dasyopus novemcinctus mexicanus</i>	Armadillo	Nine-banded Armadillo	
<b>Orden: Didelphimorphia</b>			
<b>Familia: Didelphidae</b>			
<i>Didelphis virginiana californica</i>	Tlacuache	Virginia Opossum	
<i>Tlacuatzin canescens</i>	Tlacuachín	Gray Mouse Opossum	Endémica
<b>Orden: Lagomorpha</b>			
<b>Familia: Leporidae</b>			
<i>Sylvilagus cunicularius insolitus</i>	Conejo	Cottontail	Endémica
<b>Orden: Rodentia</b>			
<b>Familia: Cricetidae</b>			
<i>Baiomys musculus musculus</i>	Ratón	Southern Pygmy Mouse	
<i>Hodomys alleni alleni</i>	Rata	Allen´s Wood Rat	Endémica
<i>Nyctomys sumichrasti colimensis</i>	Rata arborícola	Sumichrast´s Vesper Rat	
<i>Oligoryzomys fulvescens</i>	Ratón	Fulvous Harvest Mouse	
<i>Oryzomys couesi mexicanus</i>	Rata	Coues´ Oryzomys	
<i>Oryzomys melanotis colimensis</i>	Rata	Black-eared Oryzomys	Endémica
<i>Osgoodomys banderanus banderanus</i>	Ratón	Osgood´s Deermouse	Endémica
<i>Peromyscus perfulvus chrysopus</i>	Ratón	Tawny Deermouse	Endémica
<i>Sigmodon mascotensis mascotensis</i>	Rata	West Mexican Cotton Rat	Endémica
<i>Xenomys nelsoni Merriam</i>	Rata arborícola	Magdalena Woodrat	Endémica y Amenazada
<b>Familia: Geomyidae</b>			
<i>Pappogeomys bulleri burti</i>	Tuza	Buller´s Pocket Gopher	Endémica
<b>Familia: Heteromyidae</b>			
<i>Heteromys pictus pictus</i>	Ratón espinoso	Painted Spiny Pocket Mice	
<b>Familia: Sciuridae</b>			
<i>Sciurus coliaei nuchalis</i>	Ardilla	Collie´s Squirrel	Endémica
<b>Orden: Soricomorpha</b>			
<b>Familia: Soricidae</b>			
<i>Megasorex gigas</i>	Musaraña	Mexican Shrew	Endémica y amenazada

E. Listado de mamíferos que podrían beneficiarse a través de los corredores propuestos a partir de los análisis de conectividad funcional del área de estudio

#### IV. DISCUSIÓN GENERAL

En México, muchas ANP son adyacentes a ciudades en crecimiento con límites administrativos pobremente definidos (Bojórquez-Tapia et al., 2004; Cantú et al., 2004). En este contexto, resulta favorable utilizar una resolución fina para modelar el paisaje fuera de las ANP considerando los componentes del paisaje y las estructuras como las carreteras y ríos que aumentan la fragmentación y el riesgo de aislamiento de las ANP.

Una clave para gestionar paisajes heterogéneos es entender como la permeabilidad de la matriz influye en la dispersión de los organismos (Turchin, 1998; Ricketts 2001; Vandermeer y Carvajal 2001). Según nuestros resultados para *T. canescens* las carreteras y ríos son elementos que figuran como barreras de dispersión importantes, en cambio la matriz conformada principalmente por agrosistemas (suelo expuesto) presenta suficiente permeabilidad para que la especie pueda dispersarse. Otros organismos con masa y funciones ecológicas similares podrían responder de la misma manera, no obstante es importante destacar que la sensibilidad a la fragmentación varía entre las especies según sus requerimientos de hábitat y biología.

Los modelos derivados de la teoría de circuitos complementaron los modelos de ruta de menor costo, ya que ofrecen múltiples trayectorias de dispersión para la conservación de las especies (McRae et al., 2008; Cushman et al., 2013), y se ha demostrado la utilidad de la teoría de circuito para identificar posibles rutas de dispersión en mamíferos pequeños (Merrick et al., 2017). El flujo de corriente derivado de la teoría de circuitos proporciona una herramienta útil en la modelación de conectividad funcional del paisaje para especies donde se carece de valores de movimiento reales, pues modela la percepción de permeabilidad y resistencia de los organismos a largo plazo en términos de

flujo génico, y a corto plazo el desplazamiento de individuos de un punto a otro (McRae y Beier 2007; McRae et al., 2008). Sin embargo presenta un efecto de borde por el acotamiento del área de interés que puede generar confusión respecto a la probabilidad de flujo de individuos.

Desafortunadamente la falta de información de los patrones de movimiento de muchas de las especies de pequeños mamíferos dificulta la toma de decisiones (Sutherland et al., 2000; Bowman et al., 2002). Otras investigaciones han empleado métodos experimentales como marca-recaptura para examinar el movimiento de invertebrados (Roland et al., 2000; Hein et al., 2003). En mamíferos pequeños y aves se han realizado experimentos de translocación de los individuos para evaluar si los organismos cruzan o no carreteras y movimientos a través de los parches (Bowman et al., 2002) y las tasas de migración entre parches con y sin corredores biológicos que poseen una matriz de alto contraste (Bowne et al., 1999).

Aunque estos estudios han contribuido en gran medida a identificar las barreras de dispersión y los conceptos de conectividad paisajística, no distinguen la importancia relativa de los corredores frente a los tipos de matrices alternativas y muchos se basan en suposiciones que dificultan aplicabilidad a la dispersión natural (Castellon & Sieving 2006). Los organismos responden de diferente forma si conocen el ambiente al que fueron translocados (Yoder et al., 2004). Se ha demostrado que no considerar los elementos semipermeables podría conducir a la omisión de alternativas potencialmente útiles para la planificación de la conservación (Castellón & Sieving 2006). No obstante, proporcionar áreas para dispersarse en forma de corredores o matrices permeables no debe considerarse

como un remplazo a la protección de grandes extensiones de bosque primario que se necesitan para la supervivencia de los animales (Rosenberg et al., 1997).

La fragmentación es un factor que afecta a los mamíferos puesto que facilita el acceso a las especies invasoras y la desaparición de los pequeños mamíferos nativos (Gibson et al., 2013). En primera instancia una alternativa para mantener la conectividad funcional del paisaje sería establecer múltiples conexiones redundantes entre las áreas de conservación de forma que se tengan opciones ante futuras perturbaciones (Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez, 1998). Sin embargo una alternativa más factible para proteger las especies se lograría seleccionando las rutas de menor costo entre las ANP y los parches a conectar. Calcular este costo requeriría datos sobre el costo de compra y administración de sitios adyacentes a las áreas de conservación y el costo de incentivar acuerdos entre los propietarios de tierras y CONABIO. Por lo que es de vital importancia realizar estudios que identifiquen áreas prioritarias que garanticen mantener la conectividad funcional entre las ANP y los parches a conectar, para promover la conservación de las especies.

## V. REFERENCIAS

- Adriaensen, F., Chardon, J. P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H., & Matthysen, E. (2003). The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and urban planning*, 64(4), 233-247.
- Bojórquez-Tapia, L. A., de la Cueva, H., Díaz, S., Melgarejo, D., Alcantar, G., Solares, M. J., & Cruz-Bello, G. (2004). Environmental conflicts and nature reserves: redesigning Sierra San Pedro Mártir National Park, Mexico. *Biological Conservation*, 117(2), 111-126.
- Bowman, J., Jaeger, J. A., & Fahrig, L. (2002). Dispersal distance of mammals is proportional to home range size. *Ecology*, 83(7), 2049-2055.
- Bowne, D. R., Peles, J. D., & Barrett, G. W. (1999). Effects of landscape spatial structure on movement patterns of the hispid cotton rat (*Sigmodon hispidus*). *Landscape Ecology*, 14(1), 53-65.
- Bullock, SH, Mooney, HA y Medina, E. (Eds.). (1995) *Bosques tropicales estacionalmente secos*. Prensa de la Universidad de Cambridge.
- Cantu, C., Wright, R. G., Scott, J. M., & Strand, E. (2004). Assessment of current and proposed nature reserves of Mexico based on their capacity to protect geophysical features and biodiversity. *Biological Conservation*, 115(3), 411-417.
- Castellon, T. D., & Sieving, K. E. (2006). An experimental test of matrix permeability and corridor use by an endemic understory bird. *Conservation biology*, 20(1), 135-145.
- Ceballos, G. (2007). Conservation priorities for mammals in megadiverse Mexico: the efficiency of reserve networks. *Ecological Applications*, 17(2), 569-578.
- Ceballos, G., & Garcia, A. (1995). Conserving neotropical biodiversity: the role of dry forests in western Mexico. *Conservation Biology*, 9(6), 1349-1356.
- Ceballos, G., Martínez, L., García, A., & Espinoza, E. (2010). Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México (No. 333.7509 C4.).
- Ceballos, G., Székely, A., García, A., Rodríguez, P., & Noguera, F. (1999). Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. México DF (México): Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP.

- Challenger, A. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado presente y futuro (No. 581.5 C44Y).
- Conanp, S. (2012). Áreas protegidas decretadas.
- Correa Ayram, A. C., Mendoza, M. E., Etter, A., & Salicrup, D. R. P. (2017). Anthropogenic impact on habitat connectivity: A multidimensional human footprint index evaluated in a highly biodiverse landscape of Mexico. *Ecological indicators*, 72, 895-909.
- Cushman, S. A., McRae, B., Adriaensen, F., Beier, P., Shirley, M., & Zeller, K. (2013). Biological corridors and connectivity [Chapter 21]. In: Macdonald, DW; Willis, KJ, eds. *Key Topics in Conservation Biology 2*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell. p. 384-404., 384-404.
- De Ita-Martínez, C. (1983). Patrones de producción agrícola en un ecosistema tropical estacional en la Costa de Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Dirzo, R., & G. Ceballos. (2010). “Las selvas secas de México: Un reservorio de biodiversidad and laboratorio viviente.” In *Diversidad, Amenazas and Áreas Prioritarias Para La Conservación de Las Selvas Secas Del Pacífico de México*, edited by G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel, and R. Dirzo, 13–17. Mexico D. F: Fondo de Cultura Económica/CONABIO.
- FAO, Forest Resources Division FD.(2006). “Global Forest Resources Assessment 2005.” <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/A0400E/A0400E00.pdf>
- FAO. (2016). “Global Forest Resources Assessment 2015.” <http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>
- FAO; Forest Resources Division FD. (2015). “México - Evaluación de los recursos forestales mundiales – Informe Nacional 2015.” <http://www.fao.org/documents/card/en/c/154c5a2b-882d4d3e-b040-7dd52a778d17/>
- Flores-Casas, R., & Ortega-Huerta, M. A. (2019). Modelling land cover changes in the tropical dry forest surrounding the Chamela-Cuixmala biosphere reserve, Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 40(18), 6948-6974.

- Garmendia, A., Arroyo-Rodríguez, V., Estrada, A., Naranjo, E. J., & Stoner, K. E. (2013). Landscape and patch attributes impacting medium-and large-sized terrestrial mammals in a fragmented rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 29(4), 331-344.
- Gentry, A. H., Bullock, S. H., Mooney, H. A., & Medina, E. (1995). Seasonally dry tropical forests. *Diversity and Floristic Composition of Neotropical Dry Forests*; Bullock, SH, Mooney, HA, Medina, E., Eds, 146-194.
- Gibson, L., Lynam, A. J., Bradshaw, C. J., He, F., Bickford, D. P., Woodruff, D. S., ... & Laurance, W. F. (2013). Near-complete extinction of native small mammal fauna 25 years after forest fragmentation. *Science*, 341(6153), 1508-1510.
- Gutiérrez, A. R. (1993). La ganadería extensiva en el trópico seco mexicano: causas, consecuencias y manifestaciones en su medio social. Bachelor Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Harris, L. D. (2013). *The fragmented forest: island biogeography theory and the preservation of biotic diversity*. University of Chicago press.
- Hein, S., Gombert, J., Hovestadt, T., & Poethke, H. J. (2003). Movement patterns of the bush cricket *Platycleis albopunctata* in different types of habitat: matrix is not always matrix. *Ecological Entomology*, 28(4), 432-438.
- Janzen, D. H. (1982a). Removal of seeds from horse dung by tropical rodents: Influence of habitat and amount of dung. *Ecology*, 63(6), 1887-1900.
- Janzen, D. H. (1982b). Attraction of *Liomys* mice to horse dung and the extinction of this response. *Animal Behaviour*, 30(2), 483-489.
- Janzen, D. H. (1988). Tropical dry forests. *Biodiversity*, 130-137.
- Laurance, W. F., D. C. Useche, J. Rendeiro, M. Kalka, C. J. A. Bradshaw, S. P. Sloan, S. G. Laurance, M. Campbell, K. Abernethy, & P. Alvarez. (2012). "Averting Biodiversity Collapse in Tropical Forest Protected Areas." *Nature* 489 (7415): 290–294.
- Lott, E. J., & Atkinson, T. H. (2002). Biodiversidad y fitogeografía de Chamela-Cuixmala, Jalisco. *Historia natural de Chamela*, 83-97.
- MacDicken, K., Ö. Jonsson, L. Piña, S. Maulo, Y. Adikari, M. Garzuglia, E. Lindquist, G. Reams, & R. D'Annunzio. (2015). *The Global Forest Resources Assessment 2015*:

How are the World's Forests Changing. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Mas, J. F., A. Velázquez, and S. Couturier. 2009. "La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana." *Investigación Ambiental* 1 (1): 23–39.
- Mas, J. F., A. Velázquez, J. R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández, & A. Pérez-Vega. (2004). "Assessing Land-Use/Cover Changes: A Nationwide Multidate Spatial Database for Mexico." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5 (4): 249–261.
- McRae, B. H., & Beier, P. (2007). Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19885-19890.
- McRae, B. H., Dickson, B. G., Keitt, T. H., & Shah, V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10), 2712-2724.
- Meijaard, E., Mengersen, K., Buchori, D., Nurcahyo, A., Ancrenaz, M., Wich, S., ... & Christy, L. (2011). Why don't we ask? A complementary method for assessing the status of great apes. *PloS one*, 6(3), e18008.
- Mendoza, E., & Dirzo, R. (2007). Seed-size variation determines interspecific differential predation by mammals in a neotropical rain forest. *Oikos*, 116(11), 1841-1852.
- Merrick, M. J., & Koprowski, J. L. (2017). Circuit theory to estimate natal dispersal routes and functional landscape connectivity for an endangered small mammal. *Landscape ecology*, 32(6), 1163-1179.
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., ... & Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), 491-505.
- Miranda, A. (2002). Diversidad, historia natural, ecología y conservación de los mamíferos de Chamela. *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF, 359-377.

- Miranda, A. R. (1998). "Deforestación y fragmentación del hábitat: Consecuencias ecológicas sobre la fauna de mamíferos de la selva tropical estacional." México, D. F.
- Moilanen, A., & Hanski, I. (2001). On the use of connectivity measures in spatial ecology. *Oikos*, 95(1), 147-151.
- Mooney, H.A., S.H. Bullock & E. Medina. (1995). Introduction. Pp. 1-8. En: *Seasonally Dry Tropical Forests* S.H. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina (eds.). Cambridge University Press, Cambridge
- Murphy, P. G., Lugo, A. E., Bullock, S. H., Mooney, H. A., & Medina, E. (1995). *Bosques secos de América Central y del Caribe*. Dry forests of Central America and the Caribbean.
- Ordóñez, D.M. y Flores, V.O. (1995). Áreas Naturales protegidas. *Pronatura* 43.
- Portillo-Quintero, C. A., & Sánchez-Azofeifa, G. A. (2010). Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological conservation*, 143(1), 144-155.
- Ricketts, T. H. (2001). The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *The American Naturalist*, 158(1), 87-99.
- Robichaux, R. H., & Yetman, D. (Eds.). (2000). *The tropical deciduous forest of Alamos: biodiversity of a threatened ecosystem in Mexico*. University of Arizona Press.
- Roland, J., Keyghobadi, N., & Fownes, S. (2000). Alpine *Parnassius* butterfly dispersal: effects of landscape and population size. *Ecology*, 81(6), 1642-1653.
- Rosenberg, D. K., Noon, B. R., & Meslow, E. C. (1997). Biological corridors: form, function, and efficacy. *BioScience*, 47(10), 677-687.
- Shah, V. B., & McRae, B. H. (2008, August). Circuitscape: a tool for landscape ecology. In *Proceedings of the 7th Python in Science Conference* (Vol. 7, pp. 62-66). Pasadena, California, USA: SciPy 2008.
- Sutherland, G. D., Harestad, A. S., Price, K., & Lertzman, K. P. (2000). Scaling of natal dispersal distances in terrestrial birds and mammals. *Conservation ecology*, 4(1).
- Taylor, P. D. (2006). Landscape connectivity: a return to the basics. *Connectivity conservation*, 29-43.
- Tischendorf, L., & Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90(1), 7-19.

- Trejo, I. (2010). "Las selvas secas del Pacífico mexicano." In *Diversidad, Amenazas and Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*, edited by G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury–Creel, and R. Dirzo, 41–51. México, D.F: Fondo de Cultura Económica/CONABIO.
- Trejo, I., & Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological conservation*, 94(2), 133-142.
- Trejo, I., & R. Dirzo. (2002). "Floristic Diversity of Mexican Seasonally Dry Tropical Forests." *Biodiversity & Conservation* 11 (11): 2063–2084.
- Turchin, P. (1998). *Quantitative analysis of movement*. Sunderland (mass.): Sinauer assoc..
- Vandermeer, J., & Carvajal, R. (2001). Metapopulation dynamics and the quality of the matrix. *The American Naturalist*, 158(3), 211-220.
- Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. D. Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, & J. L. Palacio. (2002). "Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México." *Gaceta Ecológica* 62: 21–37.
- Villers-Ruiz, L., & Trejo-Vázquez, I. (1998). Climate change on Mexican forests and natural protected areas. *Global Environmental Change*, 8(2), 141-157.
- With, K. A. (1997). The application of neutral landscape models in conservation biology: *Conservation Biology*, 11(5), 1069-1080.
- Yoder, J. M., E. A. Marschall, & D. A. Swanson. (2004). The cost of dispersal: predation as a function of movement and site familiarity in ruffed grouse. *Behavioral Ecology* 15:469–476.