



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

**CONECTIVIDAD FUNCIONAL PARA EL PUMA (*Puma concolor*) EN
EL CENTRO DE MEXICO**

T E S I S

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias – Recursos Bióticos

Presenta

Zaira Yaneth González Saucedo

Dirigido por

Dr. Carlos Alberto López González

Santiago de Querétaro, Querétaro, México, Octubre 2011



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Ciencias de Recursos Bióticos

CONECTIVIDAD FUNCIONAL PARA EL PUMA (*Puma concolor*) EN EL CENTRO DE MÉXICO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias - Recursos Bióticos

Presenta:

Biol. Zaira Yaneth González Saucedo

Dirigido por:

Dr. Carlos A. López González

SINODALES

Dr. Carlos A. López González

Presidente

Dr. Robert Wallace Jones

Secretario

Dr. Eduardo Jorge Naranjo Piñera


Vocal

Dr. Mircea Gabriel Hidalgo Mihart

Suplente

Dr. Sonia A. Gallina Tessaro

Suplente


Biol. Jaime Ángeles Ángeles

Director de la Facultad



Firma



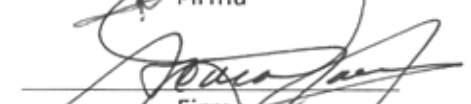
Firma



Firma



Firma



Firma


Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Octubre de 2011

RESUMEN

La transformación del hábitat natural por las presiones humanas, resulta en la reducción y aislamiento de áreas naturales haciéndolas inadecuadas para mantener poblaciones viables de grandes carnívoros, como los pumas (*Puma concolor* Linnaeus), cuya dispersión es afectada por la pérdida de conectividad entre parches de hábitat. La identificación de corredores a través del análisis de la ruta de menor costo (LCPA) ayuda a entender la permeabilidad del paisaje y la dispersión de este felino. En el centro de México se ubican tres Áreas Naturales Protegidas (ANP): Sierra Fría, Laurel y Morones, entre los estados de Aguascalientes y Zacatecas, rodeadas por un paisaje impactado por humanos, condiciones favorables para estudiar el efecto de aislamiento y evaluar los modelos de LCPA para las poblaciones de puma en México. Nuestro objetivo fue identificar las rutas de menor costo entre las ANP del centro de México y verificar su uso por los pumas. Con un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 9.3 y CorridorDesign) se generó un modelo de hábitat para identificar corredores entre sierras. Para su validación en campo fueron aplicadas entrevistas semi-estructuradas a los habitantes de las comunidades dentro y fuera de los corredores, para identificar sitios donde el puma ha sido registrado. El área de estudio incluyó el 35% de hábitat adecuado para el puma. En base a ello, se identificaron tres corredores potenciales para el movimiento de los pumas, localizados al sur, sureste y noroeste del ANP Sierra Fría, con una longitud de 3.6, 35 y 44 km, respectivamente. De las 86 entrevistas realizadas, se obtuvieron 166 registros de puma, 64 en el primer corredor, 79 en el segundo y 23 en el tercero, identificando que en las zonas con menor densidad poblacional existe un mayor número de registros al igual que la distancia al corredor, mostrando una tendencia a utilizar los corredores. Se requiere de la protección de áreas naturales con alta calidad de hábitat y conectividad para prometer la estabilidad y sobrevivencia a largo plazo de las poblaciones de puma en el centro de México y en el resto de su distribución.

(Palabras Clave: *Puma concolor*, Centro de México, Conectividad, Hábitat Fragmentado, entrevistas no estructuradas)

ABSTRACT

The transformation of natural habitat through human pressures, results in the reduction and isolation of natural areas making them unsuitable for maintaining viable populations of large carnivores, such as pumas (*Puma concolor* Linnaeus), where dispersal is affected by the loss of connectivity between habitat patches. Consequently, the identification of corridors through a least-cost path analysis (LCPA) is important to understand the landscape permeability and dispersal for this feline. In central México there are three protected natural areas (PNA): Sierra Fria, Laurel and Morones, between the states of Aguascalientes and Zacatecas, surrounded by a highly human impacted landscape, conditions favorable for studying the effect of isolation and testing models of LCPA for puma populations in Mexico. Our objective was to identify least- cost paths between PNA and verify their use by pumas. With a Geographic Information System (ArcGIS 9.3 and Corridor Design) a model for puma habitat was created to identify corridors between sierras. Currently, validation in the field used semi-structured interviews with the inhabitants of location generated within and around corridors, to identify sites where the puma has been documented. The study area includes 35% of suitable habitat for puma. On this basis, we identified three potential corridors for the movements of pumas, located south, southwest and northwest of Sierra Fría PNA, with a length of 3.6, 35 and 44 km, respectively. Of the 86 interviews conducted, we obtained 166 puma records were obtained, 64 in the first corridor, 79 in the second, and 23 in the third. We detected that areas with lower human density had higher number of records as the distance to corridor, showing a tendency to use the corridors. Protection of natural areas with high habitat quality and connectivity is required to promote stability and long-term survival of cougar populations in central Mexico and in the rest of its distribution.

(Key words: *Puma concolor*, Central México, Connectivity, Fragmented habitat, semi-structured interviews)

AGRADECIMIENTOS

Quiero Agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por su apoyo económico al otorgarme la beca, con la cual pude desarrollar exitosamente mis objetivos dentro del programa de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Al Dr. Carlos A. López, en primera por haberme aceptado como alumna y formar parte de este proyecto. Agradezco infinitamente su gran apoyo tanto en lo profesional como en lo personal y sobre todo por su gran paciencia hacia mí. Así mismo, por transmitirme parte de sus conocimientos, pasión y dedicación hacia la a la fauna silvestre y sobre todo por su amistad.

Al Dr. Eduardo Naranjo por haber contribuido en gran medida en este proyecto, aportando importantes y valiosos comentarios y sugerencias para este trabajo. Al igual que el Dr. Robert Jones, por haber estado presente en cada uno de los tutoriales contribuyendo en el enriquecimiento de este documento.

Al Dr. Mircea Hidalgo y a la Dr. Sonia Gallina, por haber aceptado ser parte del comité tutorial y sobre todo por sus correcciones apropiadas a este trabajo.

Agradezco al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en especial a la Biol. Martha Elizabeth Orozco Medina y a la Biol. Edith Alejandra Orozco Medina por el aporte de la información geográfica. Así mismo, al Ing. Juan Carlos Vázquez Paulino de la unidad de Sistemas de Información Geoespacial del Instituto Nacional del Transporte (IMT).

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), en especial al Biol. Luis Reinoso, por haber proporcionado apoyo vehicular para poder visitar todas y cada una de las comunidades en el estado de Aguascalientes y Zacatecas, por lo que también agradezco a la Biol. Jennifer Fabiola Rodríguez Femat, Biol. Raramuri Reyes Ardit y a Don Terry por su valioso apoyo en campo.

A los Biólogos Rubén Alonso Carbajal Márquez, Edith A. Orozco Medina, José Carlos Arenas Monroy, Armando Arceo y a los Licenciados en Ciencias Ambientales Violeta Rendon y Carlos Armando Romo Rivera, todos ellos integrantes de Conservación de la Biodiversidad del centro de México A. C. por su apoyo en las salidas a campo. Al M. en C. Gustavo E. Quintero Díaz, por su constante apoyo moral y profesional con valiosos puntos de vista hacia este trabajo.

A los encargados de la Unidad de Manejo Ambiental “Sierra Morones”, el Sr. Francisco Márquez, Elieser Márquez y Edgar Márquez, por su amistad y hospitalidad y sobretodo por haber proporcionado información importante para este proyecto.

Finalmente a mi Familia, por todo su apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos y metas, por cada uno de sus consejos para seguir adelante y sobre todo por su comprensión y paciencia de no poder estar cerca de ellos.

CONTENIDO

	Página
Resumen	i
Abstract	ii
Agradecimientos	iii
Contenido	v
Lista de Cuadros	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Anexos	x
1. INTRODUCCION	1
2. HIPOTESIS	3
3. OBJETIVO	3
4. REVICION LITERARIA	4
5. AREA DE ESTUDIO	11
5.1. Área Natural Protegida Sierra Fría	11
5.2. Área Natural Protegida Sierra de Laurel	13
5.3. Área Natural Protegida Sierra Morones	15
5.4. Paisaje No Perturbado	16
6. METODO	19
6.1. Modelo de Hábitat Adecuado	19
6.1.1. Variables de Hábitat	19
6.1.1.1. Elevación	19
6.1.1.2. Posición Topográfica	20

6.1.1.3. Uso de Suelo y Vegetación	20
6.1.1.4. Densidad Poblacional Humana	20
6.1.1.5. Distancia a Carreteras	20
6.1.2. Calidad de Hábitat	21
6.1.3. Parches de Hábitat	23
6.2. Modelo de la Ruta de Menor Costo	24
6.3. Validación del Modelo en Campo	25
6.4. Análisis Estadístico	25
7. RESULTADOS	27
7.1. Modelo de Hábitat Adecuado	27
7.2. Modelo de la Ruta de Menor Costo	28
7.3. Validación en Campo	32
8. DISCUSIÓN	39
9. CONCLUSIONES	45
10. RECOMENDACIONES	46
11. LITERATURA CITADA	48
12. ANEXOS	56

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Clasificación de las variables de hábitat con su respectivo valor de permeabilidad (costo) y valor de importancia de cada variable (peso) para el hábitat potencial disponible para el puma en el centro de México.	21
Cuadro 2. Sub variables de uso de suelo y vegetación en el área de estudio.	22
Cuadro 3. Características de hábitat de cada corredor. RMC =Ruta de Menor Costo, C1= corredor 1, C2= corredor 2, C3= corredor 3.	29
Cuadro 4. Estadística de las zonas estrechas de cada corredor con diferente porcentaje de permeabilidad. PEA y PEa= Puntos estrechos por arriba y abajo del umbral (500 m).	30
Cuadro 5. Longitud de los tramos de carreteras que atraviesan las rutas de menor costo entre las áreas naturales protegidas.	30

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de distribución del puma (<i>Puma concolor</i>) a lo largo del continente Americano, tomado de la Lista Roja de especies amenazadas de la IUCN (2011).	2
Figura 2. Áreas Naturales Protegida a Nivel Federa en la Republica Mexicana	10
Figura 3. Áreas Naturales Protegidas en el centro de México, rodeadas de zonas áridas y con alto impacto humano.	11
Figura 4. Paisaje de las Áreas Naturales Protegidas y Áreas perturbadas. A) ANP Sierra Fría. B) ANP Sierra de Laurel. C y D) ANP Sierra Morones. E) Área perturbada entre Sierra Fría y Sierra de Laurel. F) Área perturbada entre Sierra Fría y Sierra Morones.	18
Figura 5. Modelo de Hábitat Adecuado. Las áreas verdes intenso representan alta calidad de hábitat para el puma, concentrándose en las áreas protegidas Sierra Fría, Sierra de Laurel y Sierra Morones, mientras que las cafés son áreas de alto impacto humano.	27
Figura 6. Mapa de Parches de Hábitat para el Puma. 1) Pequeños parches (stepping stone). 2) Parche potencial para reproducción. 3) Parche potencial para mantener una población viable.	28
Figure 7. Raster de Costo. A) Interacción entre el Área Natural Protegida Sierra Fría al Área Protegida Sierra del Laurel PNA. B) Interacción hacia el Área Protegida Sierra Morones	31
Figure 8. Rutas de Menor Costo con identificadas entre las áreas naturales protegidas en el centro de México.	32

Figura 9. Rutas de Menor Costo con diferente porcentaje de permeabilidad entre las áreas protegidas, donde se detecto la presencia del puma con los registros obtenidos por biólogos y en las entrevistas.	34
Figura 10. A) Tipos de Registro de la Presencia del Puma obtenidos en las entrevistas y por biólogos. B) Frecuencia de registros. C) Distancia a las comunidades. D) Temporada en la que fueron encontrados los registros.	36
Figura 11. Relación inversamente proporcional entre la densidad poblacional humana y el número de registros de puma en el área de estudio	37
Figura 12. Relación entre en número de registros de cada interacción y su distancia al corredor. A) Corredor 1. B) Corredor 2. C) Corredor 3.	38

LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Entrevista semi-estructurada aplicada a los pobladores de las comunidades dentro y fuera de las comunidades.	53
Anexo 2. Memorias en Extenso. Zaira Y. González-Saucedo y Carlos A. López González. 2011. Functional connectivity for pumas (Puma concolor) in Central Mexico. 10th WAFMA Mountain Lion Workshop. Bozeman, Montana, USA Mayo 2-5, 2011.	59

1. INTRODUCCIÓN

La transformación del hábitat natural, por las presiones antropógenicas, ha provocado la reducción y aislamiento de espacios naturales no aptos para mantener poblaciones de animales viables con amplia distribución (Sepúlveda et al., 1997; Crooks y Sanjayan, 2006). El efecto de esto sobre los grandes carnívoros, es directo pues el movimiento entre parches, se restringe al igual que el acceso a los recursos, y consecuentemente el área requerida para el tamaño de su ámbito hogareño se incrementa, lo cual resulta en un gran costo energético para los individuos (Jones, 2004). El aumento de la distancia entre parches de hábitat dificulta la posibilidad de cruzarlos, enfrentándose a mayor riesgo de mortalidad o expresar diferentes patrones de movimiento ya que los pequeños parches son difíciles de encontrar (Kindlmann y Burel, 2008). Como consecuencia de esto, la extinción de las poblaciones locales puede volverse un evento común, lo que significa que los carnívoros, como los pumas, pueden sobrevivir solamente dentro de redes de parches que se encuentran completamente conectadas (Beier y Noss, 1998).

El puma (*Puma concolor*, Linnaeus) es uno de los carnívoros del continente americano que cuenta con una amplia distribución geográfica (Figura 1), cuya dispersión se ha visto afectada por la pérdida de conectividad entre parches de hábitat. La conectividad es el grado por el cual el paisaje facilita o impide el movimiento de los organismos entre tales parches (Ferrerías, 2001; Rothley, 2005; Kindlmann y Burel, 2008), que no solo depende de las características del paisaje (conectividad estructural), sino también de los aspectos de movilidad de los organismos (conectividad funcional) (Crooks y Sanjayan, 2006). Al verse limitada la dispersión de este depredador a causa de la fragmentación y pérdida de hábitat, el flujo genético entre poblaciones decrece debido al incremento de la distancia entre parches y la disminución de la conectividad del paisaje (Broquet et al., 2006). Por lo anterior, la identificación de corredores, ayuda a entender la conectividad del paisaje para los pumas, ya que estos facilitan sus movimientos de largas distancias (LaRue, 2007).



Figura 1. Mapa de distribución del puma (*Puma concolor*) a lo largo del continente Americano, tomado de la Lista Roja de especies amenazadas de la IUCN (2011).

Una manera de identificar corredores de dispersión es a través del análisis de determinación de la “ruta de menor costo”. En este análisis se mide la distancia efectiva entre parches de hábitat, para poder determinar la conectividad de paisajes o de reservas (Rothley, 2005). Esto es importante, ya que las reservas naturales deben tener área suficiente para mantener poblaciones con amplio rango hogareño y con una alta conectividad para soportar poblaciones genéticamente viables (Crooks y Sanjayan, 2006; Sepulveda et al., 1997).

El Análisis de la Ruta de Menor Costo (LCPA, por sus siglas en inglés), modela el costo relativo para un animal que requiere moverse entre dos áreas de hábitat disponible. Esta técnica, se basa en el hecho de como la ruta de

movimiento de un animal puede ser afectada por las características del paisaje, tales como uso de suelo, densidad humana, carreteras (LaRue y Nielsen, 2008). Este modelo es desarrollado en un Sistema de Información Geográfica (GIS), donde a cada celda se le asigna un valor de costo en base a varios factores ambientales que impiden o facilitan el movimiento (Crooks y Sanjayan, 2006). El modelo crea la ruta más probable de desplazamiento seleccionando una combinación de celdas que acumulan menor resistencia con la distancia más corta entre dos áreas de hábitat disponible (LaRue, 2007).

El centro de México provee una buena oportunidad para desarrollar y evaluar tales modelos, dado que el paisaje está altamente fragmentado con poblaciones de pumas probablemente aisladas debido a las fuertes presiones antropogénicas. Para evaluar el análisis de las rutas de menor costo se seleccionó un área que abarca porciones de los estados de Aguascalientes y Zacatecas. Tal zona incluye tres áreas naturales protegidas con evidencia de la presencia del puma pero con reducida o posiblemente nula conectividad debido a la pérdida de hábitat, por lo que es de suma importancia comenzar a identificar corredores de dispersión entre estas áreas utilizando especies como el puma, que se mueven grandes distancias.

2. HIPÓTESIS

Las áreas naturales protegidas del centro de México tendrán conectividad funcional a través de las rutas de menor costo que serán usadas por los pumas.

3. OBJETIVO

Identificar las rutas de menor costo entre áreas naturales protegidas del centro de México y verificar su uso por el puma.

4. REVISION BIBLIOGRAFICA

Los pumas presentan bajas densidades poblacionales ya que cuentan con un amplio ámbito hogareño, recorriendo grandes distancias en busca de nuevos territorios, alimento o con fines de reproducción. Sin embargo, para comprender de mejor manera los movimientos de los pumas es importante conocer las características de hábitat que este organismo necesita para poder subsistir dentro de un paisaje altamente fragmentado. En México pocos trabajos se han enfocado en el estudio de las características y uso del hábitat del puma (Burton, 2006; González-Sierra, 2006; Ortega, 2006; Monroy-Vilchis et al., 2007) en comparación con los Estados Unidos y Canadá (Hornoker y Negri, 2010;) donde las variables más importantes, consideradas para determinar la calidad de hábitat de este felino son la cobertura vegetal, altitud, pendientes, densidad poblacional humana, uso de suelo y vegetación, distancia a poblados, caminos y cuerpos de agua (Monroy-Vilchis et al., 2007; LauRe y Nielse, 2008).

El análisis de estas múltiples características del paisaje, usando Sistemas de Información Geográfica, a través de modelos de hábitat adecuado, por lo general se han realizado en zonas donde especies importantes, como los grandes mamíferos, han sido extirpadas o se conoce muy poco sobre ellas. Por ello, según Moye (2007) se debe confiar de información literaria, de expertos, empírica (presencia o ausencia de la especie en diferentes localidades) o bien una mezcla de éstas, dando como resultado una gran variedad de requerimientos de hábitat para el puma.

Dentro de los principales factores que influyen en la calidad de hábitat del puma se encuentran los usos que se le dan al suelo y la vegetación, pues estos elementos son los más susceptibles a ser modificados por el humano y son de las más importantes para que el puma realice sus actividades, ya que es una especie altamente adaptativa a un amplio rango de hábitat siempre y cuando exista disponibilidad de alimento (Tiefenbacher y Teinert, 2009). Otros de los factores más importantes, son la topografía y elevación del paisaje, pues son unos de los

rasgos que influyen en la selección de determinados venados, ya que la probabilidad de aprovechamiento del hábitat aumenta a medida que la altitud del terreno incrementa (Medina-Torres et al. 2008).

Varios autores concluyen sobre la importancia que tiene el bosque para el puma (Maehr y Cox, 1995; Maerh y Meegan, 2001; Beier, et al. 2003), como los de encino-pino (Tiefenbacher y Teinert, 2009) o en el caso de Centroamérica las selvas bajas (Estrada, 2006), mientras que otros investigadores, reportan que este felino selecciona zonas con vegetación riparia a bajas elevaciones (275-310 msnm) y pendientes suaves (13°) evitando zonas de pastizales, agricultura y las dominadas por los humanos (Dickson y Beier, 2002; Dickson et al., 2005), pues los pumas suelen ser renuentes a cruzar hábitat sin bosque de más de 90 m de ancho (Maehr et al, 2001).

En México se han identificado hábitats con alta calidad y sus diferentes usos por el puma en diversos sitios. En la Sierra de Nanchititla del estado de México, los pumas prefieren los bosques de encino-pino en altitudes mayores a los 1,800 msnm, con pendientes menores de 0 a 14° a los 1,047 m (Ortega, 2006; Rodríguez-Soto, 2007), mientras que al Oeste de México en el Volcán de Colima fueron frecuentemente localizados en los bosques húmedos de pino-encino entre los 2,300 y 2,900 msnm (Burton, 2006), lo cual difiere en el estado de Querétaro, donde prefieren menores altitudes (901-1200 msnm), sin ninguna preferencia en particular por algún tipo de vegetación (Ortega, 2006). Sin embargo, González-Sierra (2006), en el estado de Sonora identifica que en Sierra San Luis, los pumas hacen uso de seis tipos de hábitat (bosques bajos abiertos, bosques de pino-encino, bosques de pino y en menor proporción el chaparral, pastizal inducido y pastizal natural) y de asociaciones vegetales tanto arbóreas como arbustivas con tendencia a las que contienen *Quercus*, *Juniperus*, *Pinus* y *Arctostaphylos*. Esto último, resulta relevante en el análisis del hábitat del puma ya que los diferentes niveles de cobertura vegetal tienen influencia en el uso del mismo ya que pueden proveer refugio o bien ser áreas clave para el acecho de las presas. Para el estado de Aguascalientes, De la Torre (2009), menciona haber encontrado la

mayoría de sus registros en sitios con buena cobertura vegetal, como en bosques de encino-pino, bosques de pino, áreas riparias, chaparrales y matorral subtropical, al igual que los registros encontrados por González-Saucedo (2009).

La selva baja caducifolia es uno de los tipos de vegetación favorables para el puma, ya que según Medina-Torres et al. (2008), tiene una alta probabilidad de aprovechamiento por el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el cual es una de las presas más importantes para el puma, y es más abundante en áreas con mayor proporción de vegetación arbustiva o en sitios con vegetación secundaria, permitiéndole al puma cazar con mayor facilidad a sus presas. Sin embargo, este es uno de los tipos de vegetación más afectados por el desarrollo agropecuario (Siqueiros-Delgado et al. 2006) ya que son zonas muy productivas para la siembra, lo que le resta un poco de probabilidad de ser utilizado por el puma.

Por otro lado, el constante aumento de la población humana y la modificación o construcción de nuevas carreteras, son variables muy importantes dentro de la estructura del paisaje, ya que afectan la movilidad del puma y le restan calidad a su hábitat. En el caso de la modificación de carreteras, para dar cabida a mayor flujo vehicular, el puma tiene menos oportunidad de cruzar de un lado a otro, aumentando los casos de mortalidad (Gloyne y Clevenger, 2001). Se ha reportado que los pumas prefieren zonas lejanas a carreteras de alta y baja velocidad (Dickson y Beier, 2002; Dickson et al., 2005) o bien áreas que están a 3 509-4 377 m de los caminos y 2 326-4 650 m de los poblados (Monroy-Vilchis et al. 2007). Sin embargo, a pesar de que los pumas evitan paisajes dominados por el humano, éstos pueden pasar cerca de zonas pobladas y cruzar caminos dentro de su ámbito hogareño para acceder a parches de hábitat (Dickson y Beier 2002; Dickson et al. 2005; Thornton y Quinn, 2009). Pues se sabe que pumas sub adultos al dispersarse han cruzado más de tres autopistas interestatales entre el Sur de Dakota y Oklahoma (Thompson y Jenks, 2005) al igual que en Nuevo México, Florida y Utah (Sweanor et al., 2000; Maehr et al., 2002; Stoner et al., 2007).

La constante influencia de estas variables sobre la estructura del paisaje, cada vez es de mayor interés, ya que provoca la pérdida de hábitat y limita la movilidad de las especies como el puma. Por lo que la evaluación de la estructura y conectividad del paisaje en red, permite combinar los patrones del paisaje con los movimientos de dispersión y en su caso la dinámica metapoblacional de este felino, lo cual ayuda a comprender la influencia del hábitat fragmentado sobre la persistencia de una población de pumas (Baggio et al., 2011).

Se han realizado diversos estudios acerca de la importancia de los corredores para la conectividad del paisaje y su restauración (Williams y Snyder, 2005; Laurence, 2007), sus consecuencias y costos de conservación (Simberloff y Cox, 1987) y sobre todo de los principios básicos para el diseño de éstos (Lindenmayer y Nix, 1993; Chetkiewicz et al., 2006) o la aplicación de medidas necesarias para determinar la conectividad, incorporando el comportamiento de movimiento de la especie y la estructura del paisaje (Moilanen y Nieminen, 2002; Kindlmann y Burel, 2008).

Esto último, es de gran relevancia para poder predecir las rutas de movimiento del puma, ya que la conectividad funcional no solo depende de las características físicas del paisaje sino también de la capacidad de movimiento de la especie en estudio (Crooks y Sanjayan, 2006). El puma al igual que el resto de los grandes carnívoros, es una especie que recorre largas distancias desde temprana edad, dejando su rango natal en busca de su propio territorio o bien las hembras en busca de alimento y refugios para sus crías (Sweaner et al., 2000; Thompson y Jenks, 2005; Hornocker y Negri, 2010). Ambos motivos favoreciendo el flujo génico, evitando la endogamia (Stoner et al., 2007), la cual puede resultar si las poblaciones quedan aisladas en parches de hábitat debido a la pérdida y fragmentación del hábitat, a la cual los pumas son sensibles debido a que ellos necesitan tener acceso a grandes áreas de hábitat continuo (Kaczensky et al., 2011), pues según Beier (1993), el tamaño mínimo que debe tener una reserva para sostener una población de pumas por 100 años sin inmigraciones es de 1,000 – 2,200 km², en las cuales los riesgos de extinción son bajos, mientras que

Maehr y Cox (1995) estiman una media de 20,816 ha. Así mismo, parches de 500 ha son considerados como el tamaño mínimo para incluirlos como hábitat potencial (Meegan y Maerh, 2002; Maerh y Deason, 2002; Beier, 2003; Schwab, 2006). Por lo que el diseño de corredores de dispersión entre estos parches de hábitat es relevante para la estabilidad y persistencia de la estructura metapoblacional de los pumas (Ferrerías, 2001).

El incremento de pequeños parches aislados, es cada vez más común debido a la creciente influencia humana sobre el paisaje (Ferrerías, 2001; Rodríguez-Soto, 2007), lo que provoca el aumento de una matriz hostil entre estos parches, lo cual pone en riesgo a los pumas al momento de dispersarse o bien se ven forzados a aumentar sus distancias de movimiento gastando mayor cantidad de energía. Por lo que la identificación de pequeños parches (“Stepping Stones”) entre áreas grandes de hábitat conservado como las áreas naturales protegidas, facilita el movimiento de este felino. Estas pequeñas áreas forman parte de una estructura espacial convencional del paisaje (Kufner et al., 2010), pues un hábitat conectado puede consistir en una combinación de parches que sirven como rutas o corredores de hábitat que satisfacen algunos de los requerimientos del puma en su dispersión (Pullinger y Johnson, 2010), donde su costo energético al cruzar de un lado a otro es reducido. La selección de recursos y los movimientos de los animales determinan como usan el paisaje, lo cual es fundamental para la identificación y evaluación de corredores que impliquen menor costo energético para la especie (Chetkiewicz et al., 2006).

Actualmente, una forma de determinar este tipo de corredores, es a través del análisis de la ruta de menor costo. Este método sirve para predecir las rutas probables de desplazamiento de animales, utilizando la permeabilidad del hábitat (LaRue y Nielsen, 2008; Pullinger y Johnson, 2010). Este tipo de análisis ha sido aplicado como un modelo funcional para el paisaje, debido al crecimiento de los efectos de la fragmentación del hábitat sobre los sistemas naturales (Adriaensen et al., 2003). Así mismo, Pullinger y Johnson (2010) evalúan la utilidad de los modelos de la ruta de menor costo para predecir la localización y forma de la ruta

de movimiento típica de mamíferos terrestres de amplia distribución, en base a múltiples fuentes de información ecológica. Mientras que en el medio oeste de Norte América y en Nuevo México, fueron modelados corredores potenciales para la dispersión del puma utilizando esta metodología, debido al constante registro de cadáveres de pumas jóvenes (LaRue y Nielsen, 2008; Menke, 2008)

Mantener los niveles naturales de conectividad entre los remanentes de hábitat es de suma importancia (Pullinger y Johnson, 2010) ya que es un componente crítico para el diseño de reservas o áreas naturales protegidas (Minor y Urban, 2008). En la actualidad se ha prestado atención en las conexiones entre estas áreas y el paisaje circúndate (Valle-Rodríguez, 2006). El manejo de esta última ayuda en mayor grado a mejorar la conectividad del hábitat que solo enfocándose en las áreas con calidad de hábitat (Pullinger y Johnson, 2010).

México cuenta con un total de 778 áreas naturales protegidas a nivel federal (Figura 2), de las cuales 27 se encuentran en la categoría de Áreas de Protección de los Recursos Naturales Zona Protectora Forestal. Estas, están destinadas a la preservación y protección del suelo, cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales. Dentro de ellas, se realizan actividades relacionadas con la preservación, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como la investigación, recreación, turismo y educación ecológica (CONANP, 2006). Tres de estas áreas se encuentran en el Centro de México, entre el estado de Aguascalientes y Zacatecas: Sierra Fría, Sierra de Laurel y Sierra Morones. Estas áreas cuentan con alta calidad de hábitat, pero se encuentran rodeadas por zonas altamente perturbadas por el humano y poco se sabe acerca de la fauna. Para Sierra Fría y Sierra de Laurel solo se cuenta con listados de mamíferos (Hasselbach, 1996; De la Riva et al., 2000; Hasselbach y Perez, 2001; Hernandez, 2007) mientras que para Morones se desconoce. En Aguascalientes, existen solo dos trabajos que involucran al puma, el primero en Sierra Fría sobre su dieta (De la Torre, 2009) donde también se describen los sitios donde fueron encontrados los rastros, al igual que el segundo en una porción de Sierra de Laurel donde

también se estima su abundancia relativa (González-Saucedo, 2009). Debido a la ausencia de información de especies clave como el puma y sobre todo su comportamiento ante un paisaje fragmentado, el área cuenta con las características adecuadas para poder diseñar corredores de dispersión entre las Áreas Naturales Protegidas.

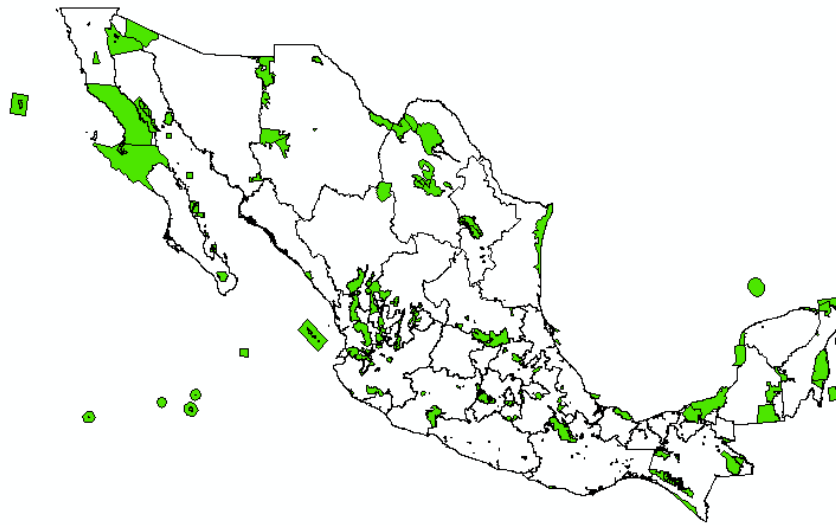


Figura 2. Áreas Naturales Protegida a Nivel Federal en la República Mexicana

5. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende una superficie de 12, 257.63 km², la cual se localiza en el centro de México entre los estados de Aguascalientes y Zacatecas. El presente trabajo se llevó a cabo en sitios colindantes con el Área de Protección de los Recursos Naturales, porción Fría (ANPSF), la cual se encuentra rodeada de zonas áridas y con alto impacto humano. Hacia el sur entre Sierra Fría y el área protegida de Sierra de Laurel y hacia el noroeste entre Sierra Fría y Sierra Morones (Figura 3).

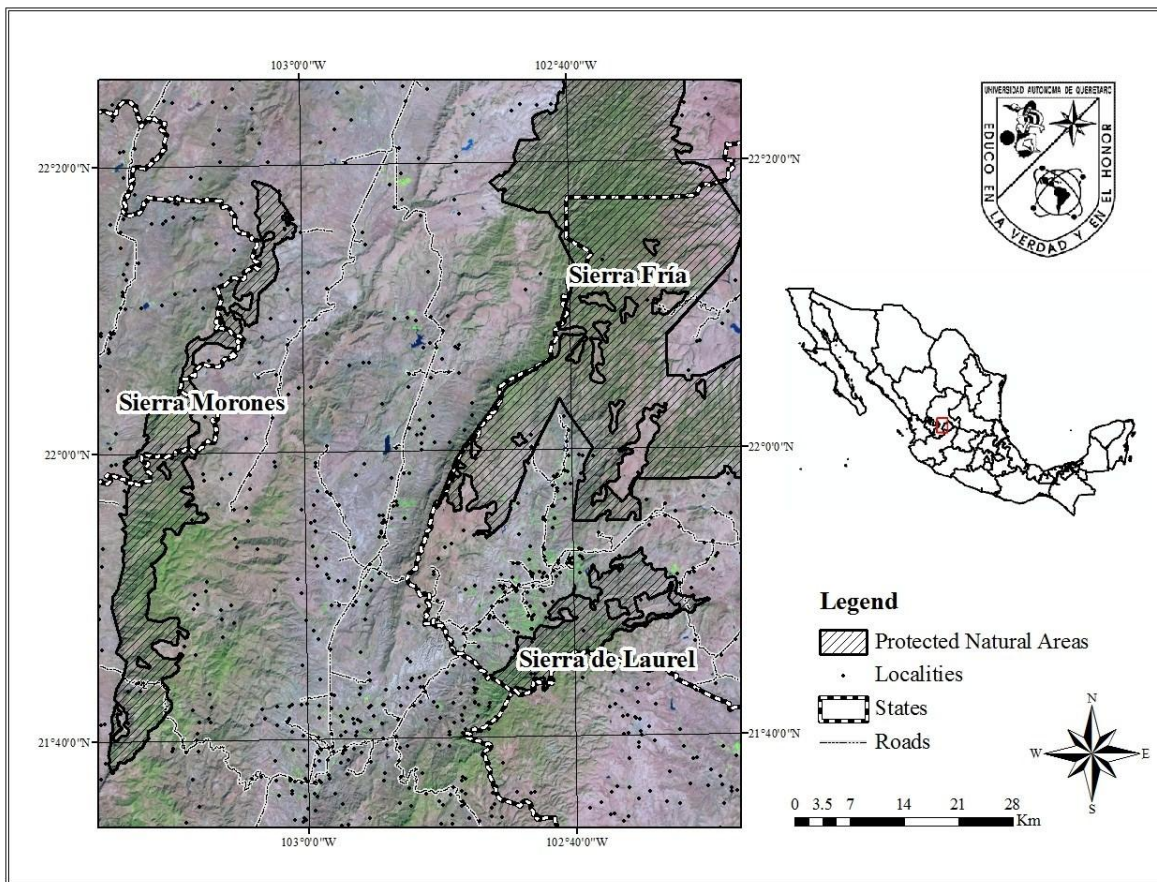


Figura 3. Áreas Naturales Protegidas en el centro de México, rodeadas de zonas áridas y con alto impacto humano.

5.1. Área Natural Protegida Sierra Fría

En el centro del la República, en el noroeste del estado de Aguascalientes, en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, se encuentra una reducida región montañosa compuesta por varias serranías, que constituye el Área Natural Protegida Sierra Fría (Siqueiros, 2008), la cual se ubica en las coordenadas extremas 21° 52' 45" a 23°31'17" N y 102° 22' 44" a 102° 50' 53" W, con una superficie de 1, 419 km², decretada Área Natural Protegida a nivel estatal en 1994, y también es una zona terrestre prioritaria para la conservación ya que se trata de un conjunto de tipos de vegetación templada en buen estado que ha funcionado como reservorio de muchas especies y la cual se encuentra aislada de otras regiones debido a que está rodeada de zonas áridas y de zonas con alto impacto humano (Medellin, 2009 y CONABIO, 2000).

Cuenta con clima templado (C(wo)) y semiárido templado (BS1kw), siendo la temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y la temperatura del mes más caliente menor a 22°C. La precipitación media anual es de 200 a 1, 800 mm, mientras que en el mes más seco es de 0 a 40 mm y las lluvias de verano de 5% al 10.2% anual. Dentro de sus aspectos fisiográficos, cuenta con geoformas de sierra y pie de monte, con un tipo de suelo Planosol éutrico (CONABIO, 2000).

Los principales tipos de vegetación son en su mayoría bosques de encino o asociaciones de encino con otras especies, como pinos (*Pinus* sp.) (Arriba de los 2,450 msnm) y táscate (*Juniperus* sp). Existen también matorrales templados, áridos y subtropicales, chaparrales, matorral crasicaule, espinoso, rosetófilo y pastizal natural. Los encinares son los mejor conservados. Los principales tipos de uso de suelo es agrícola, pecuario y forestal, los cuales pueden ser permanentes o temporales. Así mismo, uno de los principales problemas ambientales a los que se enfrenta la región es la existencia de ranchos cinegéticos, en los cuales introducen especies exóticas de cérvidos, el sobrepastoreo, la tala y la cacería clandestina, ejerciendo una presión sobre especies de mamíferos y aves. Por lo que se ha producido un incremento en la densidad del sotobosque de los bosques de encino

y encino-pino y un reclutamiento limitado en los bosques de pino, existiendo poca regeneración de especies debido a la presencia de ganadería, por lo que existe una pérdida del 37% de la superficie original a pesar de que es una zona conservada debido a la tenencia de tierra privada (CONABIO, 2000).

Se ha registrado una riqueza de especies de 13 órdenes y 65 familias de insectos, 228 especies de vertebrados y 32 especies de anfibios y reptiles como el sapo (*Incilius occidentalis*), camaleón (*Phrynosoma orbiculare*) y la tortuga casquito (*Kinosternon integrum*). Hay 35 especies de aves migratorias de las cuales cinco están desapareciendo: el halcón mexicano (*Falco mexicanus*), el cardenal común (*Cardinalis cardinalis*), el cardenal negro (*Phainopepla nitens*), la codorniz (*Colinus virginianus*, *Cyrtonyx montezumae*). Hay 87 especies de mamíferos dentro de las que destacan el puma (*Puma concolor*), el gato montés (*Lynx rufus*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*) y pecarí de collar (*Pecari tajacu*).

5.2. Área Natural Protegida Sierra de Laurel

Al sur del ANPSF entre los 21° 42' y 21° 51' N y los 102° 47' y 102' 35' W, se encuentra ubicada el área protegida Sierra de Laurel, con una superficie de 194.367 km², la cual es considerada una área de protección de los recursos naturales, zona protectora forestal, entre los estados de Aguascalientes, Jalisco, Nayarit y Zacatecas (CONANP, 2006). Esta se encuentra en la provincia fisiográfica de Sierras y Valles Zacatecanos de la Sierra Madre Occidental, con topografía accidentada y mesetas entre los 1, 700 a 2,760 msnm (IMAE, 2005; Hernández, 2007; Medina-Torres et al., 2008). Cuenta con un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w)) en las partes altas de la sierra, semicálido semiseco (BS1h) en las partes bajas del valle de Huejucar y el cálido semiseco (BS1k) en la zona oriental. La precipitación media anual es de aproximadamente 600 mm (Biodiversidad del Estado de Aguascalientes, 2008).

La Sierra del Laurel cuenta con especies en peligro de extinción tanto vegetales, como el Laurel (*Litsea glaucescens*) y animales, como la guacamaya verde (*Ara militaris*) (IMAE, 2005; Hernández, 2007; Biodiversidad del Estado de Aguascalientes, 2008) y una gran variedad de anfibios y reptiles (Vázquez-Díaz y Quintero-Díaz, 2005).

En las partes altas de la sierra se puede encontrar vegetación de bosque de encino (*Quercus chihuahuensis*, *Q. eduardii*, *Q. laeta*, *Q. potosina*, *Q. rugosa*, *Q. gentryi*, *Q. coccolobifolia*, *Q. uxoris*, *Q. sideroxila*, *Q. laurina*, *Q. aristata* y *Q. microphylla*), distribuidos en las mesetas, laderas y cañadas, donde puede estar asociado con pino y estratos arbustivos de densidad variable de *Arctostaphylos* spp y *Arbutus* spp, con diversos grados de disturbio. También está presente el matorral subtropical el cual esta formado por arbustos o árboles inermes o espinosos incluyendo varias asociaciones vegetales dominadas por especies indicadoras de disturbios o de asociaciones secundarias en zonas de desmonte y presentándose en las zonas de transición entre un tipo de vegetación y otro (ecotonos), que en general son áreas con mayor biodiversidad florística y faunística (De la Cerda, 1982; 1989). La mayoría de las especies subtropicales pierden su follaje en la época de secas. Las especies principales son *Ipomoea murucoides*, *Bursera roseana*, *Eysenhardtia polystachya*, *Acacia pennatula* y *Opuntia* spp. Este tipo de vegetación en particular ha sido afectada por el desmonte para el establecimiento de huertas de guayaba, cítricos, agave azul y maíz, expansión humana y el aprovechamiento de especies vegetales nativas como la hoja del laurel (De la Cerda, 1999; Vázquez-Díaz y Quintero-Díaz, 2005; Siqueiros-Delgado et al., 2006; Hernández, 2007).

Debido a la eliminación de vegetación natural a causa de los disturbios naturales o antropogénicos como la tala, desmonte, sobrepastoreo o incendios, existen zonas de pastizal inducido, provocando el predominio de especies arbustivas como *Dodonea viscosa*, *Mimosa* spp. y *Acacia* spp. y en menor proporción especies de la comunidad vegetal original como del bosque de encino o matorral subtropical (Medina-Torres et al., 2008).

El impacto humano sobre la vegetación de Sierra de Laurel, tiene como consecuencia efecto sobre la fauna silvestre, como es el caso del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), de quienes se ha reportado que tienen mayor probabilidad de aprovechamiento de hábitat en zonas de matorral subtropical (Medina-Torres et al., 2008) y donde sus poblaciones se han visto disminuidas (Hernández, 2007), pues como se mencionó anteriormente, este tipo de vegetación, se ha visto altamente afectado por el desarrollo agropecuario, donde es común que los ganaderos deterioren la calidad del hábitat del venado, erradicando con herbicidas *I. murucoides*, con el propósito de evitar sus efectos tóxicos sobre el ganado bovino (González-Alaniz, 1997).

5.3. Área Natural Protegida Sierra Morones

Al noroeste del ANPSF, en el estado de Zacatecas, se encuentra la porción de Sierra Morones considerada para la protección de los recursos naturales, zona protectora forestal, con una superficie de 636.30 km². Esta se ubica en las coordenadas extremas 21° 13' 14" a 21° 31' 20" N y 103° 04' 05" a 103° 22' 37" W. Esta región es considerada prioritaria para la conservación ya que alberga a la única población conocida de *Pinus maximartinezi*, especie de pino endémica y de interés económico (CONBIO, 2000).

Cuenta con un clima templado (C(w1)), semiárido templado (BS1hw), semiárido cálido (BS1(h')w), semicálido, templado subhúmedo ((A)C(wo)) y semiárido templado (BS1kw), con una temperatura media anual de 12°C y 18°C, siendo el mes mas frio de -3°C y el mes mas cálido mayor a 22°C. Cuenta con una precipitación media anual de los 200 a los 2 500 mm, con lluvias en verano del 5% al 10.2 % anual y en el mes más seco de 0 a 60 mm. Esta constituida por sierras, laderas y valle intermontano, con un tipo de suelo feozem háplico (PHh) y planosol éutrico (PLe).

Sierra Morones esta constituida principalmente por bosque de encino, selva baja caducifolia, matorral subtropical, con actividades antropogénicas como la agricultura, pecuaria y forestal, haciendo uso de los recursos forestales y ganaderos que puede ser permanente o temporal. Debido a esto la vegetación de pino y encino se encuentra fragmentada, predominando rodales de vegetación secundaria. Así mismo, cuenta con la problemática ambiental de alto impacto de la ganadería extensiva y la recolecta de semillas de pino limitando su reproducción debido a su lento crecimiento. En las laderas y en el valle se localizan cultivos temporales y matorral xerófilo. Es considerada una región poco conocida ya que no existe mucha información respecto a las actividades de conservación en la región.

5.4. Paisaje No Protegido

Esta zona se encuentra rodeando al ANPSF, constituida principalmente de zonas áridas y con alto impacto humano, por lo que equivale a las zonas intermedias entre las áreas protegidas. Esta compuesta por un sistema de valles intermontanos rodeados por montañas, cañones y mesetas (INEGI, 2005).

Hacia el sur de Sierra Fría, en el estado de Aguascalientes, se encuentra el Valle de Calvillo, con relieve llano desde su contacto con las sierras y mesetas que lo rodean, descendiendo de los 1950 a los 1540 msnm. Tiene forma alargada con orientación noreste-suroeste y una superficie de 142 km². Es drenado por ríos y pequeños arroyos intermitentes que presentan manchones de vegetación riparia. Solo en pocas zonas se presentan parches de matorral subtropical en condiciones originales ya que la mayor parte ha sido eliminado para la siembra de maíz, frijol, cítricos y abundantes cultivos de guayaba y actualmente cultivos de nopal y maguey tequilero (Biodiversidad del Estado de Aguascalientes, 2008). Todo esto con la finalidad de satisfacer la demanda de alimentos, madera, fibras y combustible.

Por otro lado, entre Sierra Fría y Sierra Morones, atraviesa una parte de los Valles Zacatecanos, los cuales se caracterizan por sus sierras altas de norte a sur alternadas con valles de pendientes suaves y lomeríos. Sus suelos son en general de origen residual y aluvial y debido a la gran variedad de asociaciones presentes hace que su fertilidad sea alta (INEGI, 2011). Esta zona intermedia está constituida principalmente de vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia (INEGI, 2005), la cual tiene un alto grado de perturbación debido a las actividades humanas como la agricultura tanto temporal como de riego de maíz, frijol, chile, alfalfa, guayaba y sorgo (INEGI, 2011). Esta zona a pesar de que cuenta con una alta degradación de suelos y de vegetación tiene baja prioridad de protección, y se predice que para el 2033 esta zona estará catalogada como una zona inestable (SEMARNAT, 2011).

De acuerdo a la propuesta del Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT) de la SEMARNAT (2011), esta zona cuenta con estrategias dirigidas a lograr su sustentabilidad ambiental, como la conservación *in situ* de los ecosistemas y biodiversidad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Así mismo, estrategias dirigidas al mejoramiento del sistema social e infraestructura urbana y para el fortalecimiento de la gestión y coordinación institucional, para asegurar el respeto de los derechos de propiedad rural.

Por otro lado, ambos valles que separan a las áreas protegidas, son atravesados por carreteras de doble carril. Al sur de Sierra Fría por la carretera libre federal Aguascalientes – Jalpa, mientras que al noroeste por la carretera libre federal Guadalajara – Zacatecas (INEGI, 2005).

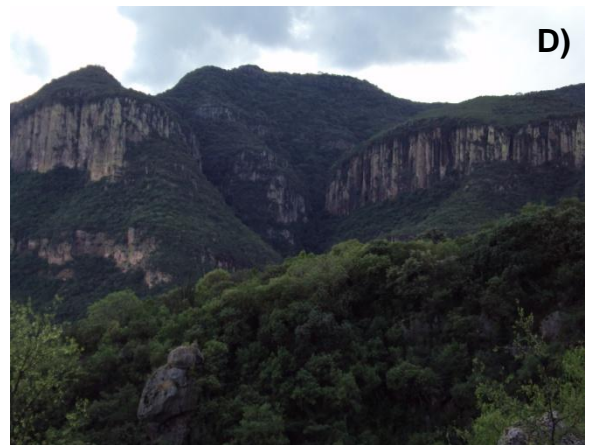
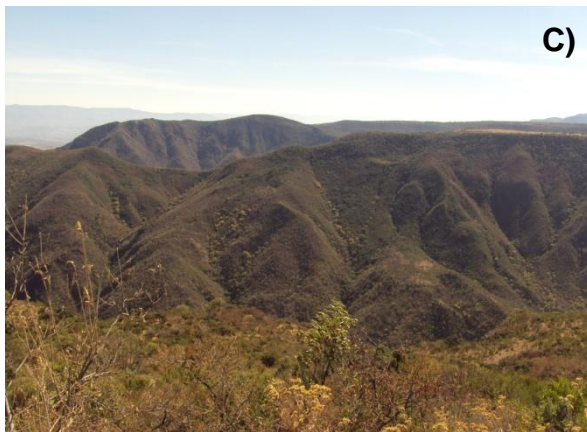


Figura 4. Paisaje de las áreas naturales protegidas y áreas perturbadas. A) ANP Sierra Fría. B) ANP Sierra de Laurel. C y D) ANP Sierra Morones. E) Área perturbada entre Sierra Fría y Sierra de Laurel. F) Área perturbada entre Sierra Fría y Sierra Morones.

6. METODO

Esta investigación se desarrolló en tres fases. La primera de ellas fue la realización de un modelo de hábitat adecuado para el puma en el área de estudio, con base en sus requerimientos de hábitat. Este proceso, sirvió como base para la elaboración de un modelo de las rutas de menor costo, para determinar si existe conectividad entre las áreas naturales protegidas (Sierra Fría, Sierra de Laurel y Sierra Morones). Para crear ambos modelos se utilizó el Sistema de Información Geográfica Arc GIS 9.3 junto con las herramientas Corridor Design (Beier et al., 2007; Majka et al., 2007), para posteriormente realizar su validación en campo.

6.1. Modelo de Hábitat Adecuado

6.1.1. Variables

Para este modelo se utilizaron tres variables de hábitat (uso de suelo y vegetación, posición topográfica, y elevación) y dos antropógenicas (distancia a carreteras y densidad poblacional humana). Estas, fueron clasificadas en sub variables en base a las características del paisaje del área de estudio y a los requerimientos del puma.

6.1.1.1. Elevación: Los datos utilizados para esta variable fueron obtenidos del Modelo Digital de Elevación (MDE) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI), con la cartografía topográfica 1: 50 000. Las sub variables de la elevación del terreno, se obtuvieron al clasificar este raster en cuatro rangos (Tabla 1).

6.1.1.2. Posición Topográfica: Para la clasificación de esta variable, se utilizó la herramienta *Create Topographic Position* de Corridor Design y el

modelo digital de elevación, donde los píxeles que se encuentran en un radio de 200 m alrededor de un píxel dado, son comparados para crear la clasificación de los píxeles como: *Fondo del Cañón*: Si el píxel tiene una elevación al menos de 12 m menor que el promedio de los píxeles vecinos. *Tope de la Cresta*: Si el píxel tiene una elevación al menos 12 m mayor que el promedio de píxeles vecinos. *Pendiente Suave*: Si el píxel tiene una pendiente menor a 6°. *Pendiente Pronunciada*: Si el píxel tiene una pendiente mayor a 6°. El raster de salida generó un código numérico para cada atributo: 1 = Fondo del Cañón, 2 = Pendiente Suave, 3 = Pendiente Pronunciada, 4 = Tope de la Cresta.

6.1.1.3. Uso de Suelo y Vegetación: Las sub variables de uso de suelo y vegetación se obtuvieron de la capa SERIE III, generada por el INEGI del 2003-2005, a una escala 1:250 000. Para su clasificación, se asignó un valor numérico a los polígonos que representaban el mismo tipo de uso de suelo o vegetación (Cuadro 2), para finalmente convertirlo en formato raster.

6.1.1.4. Densidad Poblacional Humana: Para esta variable se utilizó como base la información obtenida en el censo poblacional 2005 del INEGI. Para la determinación de la densidad poblacional en el área de estudio, se utilizó la herramienta Kernel Density de Spatial Analysis, con la finalidad de distribuir la población total de las comunidades por unidad de área, para posteriormente realizar su clasificación en seis rangos.

6.1.1.5. Distancia a Carreteras: Del Instituto Mexicano de Transporte (IMT), se obtuvo la información geográfica de las carreteras pavimentadas presentes en el área de estudio. Para la determinación de los rangos de distancia a partir de las carreteras, se utilizó la herramienta Euclidian Distance de Spatial Analysis.

6.1.2. Calidad de Hábitat

Una vez clasificadas las variables, con base a la revisión bibliográfica sobre los requerimientos de hábitat, biología y ecología del puma, se asignó un valor de calidad de hábitat (costo ecológico de viaje) a cada sub-variable de acuerdo a lo siguientes criterios: Hábitat Adecuado (80 – 100), Hábitat Sub-óptimo (79 – 60), Uso Ocasional (59 – 40), Hábitat No Adecuado (< 39) (Cuadro 1). Así mismo, se asignó un peso (%) a cada variable, siendo mayor aquella que representa mayor preferencia por el puma. Los pesos deberán sumar el 100 % (Beier et al., 2007).

Cuadro 1. Clasificación de las variables de hábitat con su respectivo valor de permeabilidad (costo) y valor de importancia de cada variable (peso) para el hábitat potencial disponible para el puma en el centro de México.

Topografía (25%)	Costo	Elevación (15%)	Costo	Distancia a Carreteras (m) (5%)	Costo	Densidad Poblacional (per/Km ²) (5%)	Costo	Uso de Suelo y Vegetación (50%)
Fondo del Cañón	80	1300-1800	70	0-500	40	0-20	80	
Pendiente Suave	50	1800-2100	80	500-1000	60	20-50	60	
Pendiente Pronunciada	70	2100-2500	90	1000-3000	70	50-100	40	Cuadro 2
Tope de la Cresta	100	2500-3100	100	3000-6000	90	100-300	30	
				6000-25000	100	300-700	20	
						700- >1000	10	

Los valores de costo se asignaron en base a revisión bibliográfica (Maehr y Cox, 1995; Maehr et al, 2001; Maehr y Meegan, 2001; Dickson y Beier, 2002; Beier, et al. 2003; Dickson et al., 2005; Burton, 2006; Estrada, 2006; González-Sierra, 2006; Ortega, 2006; Monroy-Vilchis et al., 2007; LauRe y Nielse, 2008; Medina-Torres et al. 2008; Thornton y Quinn, 2009; Tiefenbacher y Teinert, 2009) y opinión de expertos.

Se creó un archivo de texto para cada variable de hábitat. Para el caso de las variables continuas, como la distancia a las carreteras, densidad poblacional humana y elevación, los archivos contenían los rangos de las variables con su valor de calidad de hábitat, mientras que los archivos de las variables categóricas (uso de suelo, vegetación y topografía) tenían el código numérico y el valor de calidad de hábitat para cada atributo.

Cuadro 2. Sub variables de uso de suelo y vegetación en el área de estudio.

No.	Uso de Suelo y Vegetación	Costo
1	Vegetación Primaria de Bosque de Pino	80
2	Vegetación Primaria de Bosque de Pino -Encino	90
3	Vegetación Primaria de Bosque de Encino	100
4	Vegetación Primaria de Bosque de Encino -Pino	100
5	Vegetación Primaria de Matorral Crasicaule	60
6	Vegetación Primaria de Mezquital Desértico	10
7	Vegetación Primaria de Pastizal Natural	50
8	Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Encino	90
9	Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Encino	100
10	Vegetación Secundaria Arbustiva de Matorral Crasicaule	50
11	Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Mezquite	10
12	Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Mezquite	10
13	Vegetación Secundaria Arbustiva de Mezquital Desértico	10
14	Vegetación Secundaria Arbustiva de Pastizal Natural	40
15	Vegetación Secundaria Arbustiva de Selva Baja Caducifolia	70
16	Vegetación Inducida de Pastizal	10
17	Agricultura Temporal	30
18	Agricultura de Riego	20
19	Cuerpos de Agua	20
20	Asentamientos Humanos	10
21	Zona Urbana	10
22	Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Tascate	10
23	Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Pino-Encino	10
24	Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Encino-Pino	10

Para crear el modelo se utilizó la herramienta HSM 1- *Create hábitat suitability model* de la caja de herramientas de Corridor Design, la cual permite reclasificar y combinar de dos a seis variables de hábitat diferentes en base a su disponibilidad. Para esto, debido a que cada pixel cuenta con cinco valores de disponibilidad, uno por cada variable, se utilizó el algoritmo de media geométrica, para obtener un solo valor de disponibilidad (permeabilidad) para cada pixel (Beier, 2008):

$$\text{Permeabilidad} = \Pi (S_n^{W_n})$$

Donde S_n es el valor de costo para la variable n , W_n el peso de cada variable y Π la media “multiplicación de n términos”. Esta operación aritmética, refleja el concepto de limitar un factor, pues la estabilidad de una población puede estar limitada por un factor esencial que es escaso en relación a sus necesidades (Ley de Leibing). Este algoritmo, refleja mejor una situación en la cual un factor de hábitat limita disponibilidad en una forma que no puede ser compensada por otro factor (Beier et al., 2007). Una vez generado el modelo, se calculó el porcentaje de hábitat adecuado y hábitat no adecuado para el puma en el área de estudio.

6.1.3. Parches de Hábitat

Para este mapa se utilizó la herramienta *Create habitat patch map*, utilizando como base el modelo de hábitat adecuado. Donde al igual que el mapa de posición topográfica los pixeles que se encuentran en un radio de 200 m de un pixel dado son promediados, para clasificar al paisaje en diferentes tamaños de parches potenciales de hábitat. Para esto fue necesario aplicar un umbral de hábitat adecuado de 50, el cual define la calidad de hábitat de un parche. Así mismo se consideró un tamaño mínimo de parche para reproducción del puma de 7900 ha, (parche que soporta una pareja reproductora o jóvenes en su edad de dispersión) y un tamaño mínimo de parche de 39 500 ha para soportar una

población viable de pumas, durante más de 10 años. El archivo Shape de salida obtendrá tres tipos de parches: 1) pequeños parches (stepping stones), 2) potencial para reproducción 3) potencial para soportar una población viable de pumas.

6.2. Modelo de la Ruta de Menor Costo

Este modelo fue generado en dos etapas. La primera de ellas fue entre las Áreas Naturales Protegidas Sierra Fría y Sierra de Laurel, mientras que la segunda fue de Sierra Fría a Sierra Morones.

Para esto, se utilizó la herramienta *Create corridor model*, de la caja de herramientas Corridor Design. Se establecieron como block de hábitat a conectar los polígonos diseñados por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Así mismo, para cada interacción se utilizó como base el modelo de hábitat adecuado (mapa de permeabilidad), con el cual se creó un raster de costo (mapa de resistencia), el cual asocia el hábitat favorable con los valores de pixel más bajos y así un menor costo de movimiento a través del paisaje (LaRue and Nielsen, 2008). Debido a que la herramienta vuelve a calcular un mapa de parches dentro de cada block de hábitat, con la finalidad de determinar puntos de inicio y fin del corredor, se asignaron los datos utilizados en la generación de parches de hábitat. El modelo genera un corredor con 11 bandas de diferente porcentaje de permeabilidad (0.1, 10-100%), donde el rango de permeabilidad es de mayor (0.1 %) a menor (100 %). Las bandas con menor porcentaje fueron caracterizadas para obtener su longitud, área, porcentaje de hábitat adecuado y no adecuado, así como los puntos estrechos del corredor, tomando en cuenta un umbral de 500 metros (Beier, 1995).

6.3. Validación del Modelo en Campo

Para la corroboración del modelo, se realizaron entrevistas semi estructuradas a los pobladores de las comunidades que se encuentran dentro y fuera de los corredores, considerando solamente las que tienen mas de 50 habitantes y a las personas mayores de 25 años, de preferencia campesinos, debido a que se encuentran en contacto más directo con el ambiente. Debido al interés particular de saber si estas áreas están relacionadas con la presencia del puma, las personas fueron cuestionadas sobre sitios de avistamientos, sitios donde han sido encontrados rastros (huellas, excrementos, rascaderos y cadáveres de presas), frecuencia (1-3, 4-7,8-12 meses, 1-3, >3 años), descripción del ejemplar, distancia a la comunidad (<1 km, 1-5 km, > 5 km), temporada (secas o lluvias) y características paisajísticas del sitio donde fue observado o encontrado el rastro del puma (Anexo 1). Como prueba para evaluar la veracidad de los avistamientos, se utilizó una laminilla que incluye una fotografía de especies de felinos mexicanos y africanos, la cual fue mostrada a cada persona entrevistada. De las entrevistas obtenidas, se determinaron cuántas de estas fueron positivas (las que detectaron al puma) y cuantas negativas (las que no detectaron al puma). Aquellas entrevistas que contenían información de más de 5 años de antigüedad fueron eliminadas.

6.4. Análisis Estadístico

De la información recopilada, se calculó el porcentaje de los tipos de registros (donde fueron incluidos datos obtenidos por biólogos de la Universidad Autónoma de Aguascalientes), frecuencia, distancia a comunidades y temporada en la que ha sido observado el puma. Por otro lado, para determinar si la densidad poblacional humana está relacionada con el número de registros (a mayor densidad humana menor número de registros), se extrajo el valor del raster de

esta variable para cada uno de los registros y se obtuvieron las frecuencias. Del mismo modo, para determinar si el número de registros tiene una relación con la distancia a los corredores, es decir, a menor distancia mayor número de registros, se determinaron las distancias desde los registros obtenidos entre Sierra Fría y Sierra de Laurel (n= 64) hacia el borde del primer corredor. De los registros obtenidos hacia Sierra Morones, 79 fueron dirigidos hacia el borde del segundo corredor y 23 hacia el del tercero, para posteriormente obtener sus respectivas frecuencias.

Con la finalidad de determinar si los registros corroboran el uso de los corredores por los pumas de manera general, se aplicó una prueba de bondad de ajuste de X^2 , para verificar si éstos se distribuyen o no de manera uniforme. De igual forma, para cada corredor se analizó cada una de las bandas de permeabilidad para ver de qué manera se distribuyen los registros en cada una de ellas. Para el análisis de la X^2 de las bandas, solo se consideraron los registros de la matriz, siendo los observados aquellos que se encontraron dentro de cada franja, mientras que los esperados fueron los del exterior de éstas. Los registros que se encontraban dentro de las áreas protegidas no se contemplaron, ya que se trataba de evaluar si el puma se desplaza entre dichas áreas.

7. RESULTADOS

7.1. Modelo de Hábitat Adecuado

El modelo desarrollado mostró que el área de estudio cuenta con el 35% de hábitat en buen estado para el puma (4, 236.13 km²), concentrándose principalmente en las áreas protegidas, mientras que el análisis indica que 65% no es adecuado (8, 021.49 km²) (Figura 5). En base a este modelo, se identificó un parche potencial para soportar a una población viable de pumas (7, 311.93 Km²), un parche potencial para reproducción (108. 52 Km²) y pequeños parches (0.001-73.31 Km²) que pueden servir como escalones (stepping stones), para el desplazamiento de pumas (Figura 6).

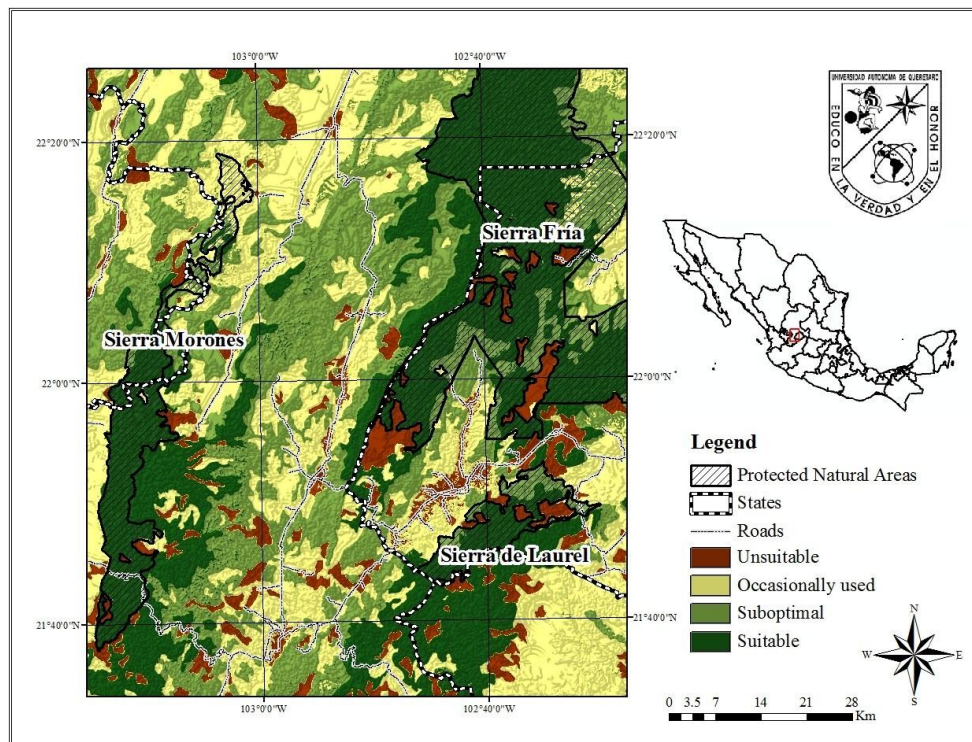


Figura 5. Modelo de Hábitat Adecuado. Las áreas verdes intenso representan alta calidad de hábitat para el puma, concentrándose en las áreas protegidas Sierra Fria, Sierra de Laurel y Sierra Morones, mientras que las cafés son áreas de alto impacto humano.

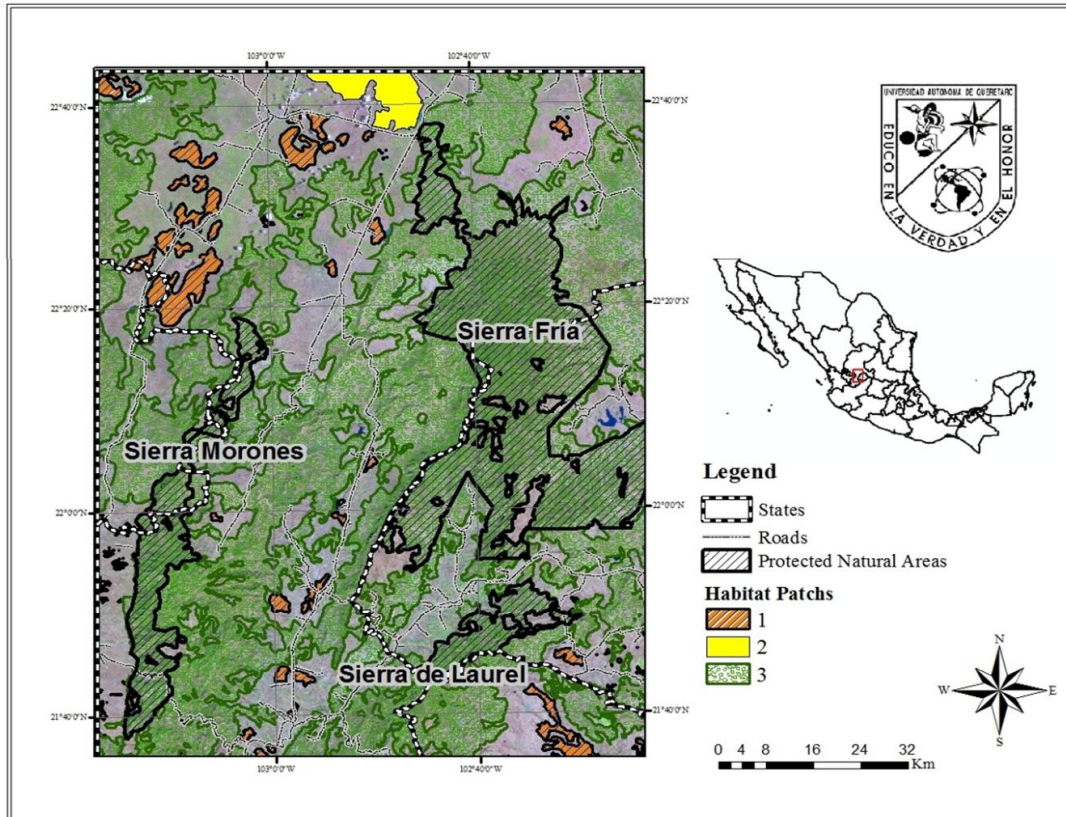


Figura 6. Mapa de Parches de Hábitat para el Puma. 1) pequeños parches (stepping stone). 2) Parche potencial para reproducción. 3) Parche potencial para mantener una población viable.

7.2. Modelo de la Ruta de Menor Costo

Se generó un raster de costo para cada interacción (Figura 7), detectando tres rutas de menor costo para el puma. Una hacia el sur del Área Natural Protegida Sierra Fría y dos hacia el noroeste de ésta. Los primeros dos corredores fueron establecidos en el mínimo porcentaje de permeabilidad (0.1%), mientras que el tercero al 60 %, esto debido a que cuenta con mayor distancia (Figura 8).

De los tres corredores, el de menor distancia y con buena calidad de hábitat fue entre las áreas protegidas Sierra Fría-Sierra de Laurel (Cuadro 3). El segundo corredor, de Sierra Fría a Sierra Morones, cuenta con mayor distancia y

menor calidad de hábitat, ya que casi la mitad de éste cuenta con hábitat inadecuado y es muy estrecho. Debido a esto, se consideró la siguiente franja de permeabilidad (10%) como parte del corredor, resultando en un corredor con mayor área y calidad de hábitat. El tercer corredor, a pesar de que es de mayor distancia cuenta con mejor calidad de hábitat y al igual que el segundo, es muy estrecho, por lo que también se consideró una segunda franja de permeabilidad (70%) como parte del corredor (Cuadro 4). La cantidad de hábitat inadecuado de este corredor aumentó y se encuentra distribuido como pequeños parches inmersos en una matriz de hábitat adecuado.

Cuadro 3. Características de Hábitat de cada corredor. LCP = Rutas de Menor Costo, C1= Corredor 1, C2= Corredor 2, C3= Corredor 3.

LCP	Permeabilidad (%)	Longitud (km)	Área (km²)	Hábitat Adecuado (%)	Hábitat No Adecuado (%)
C1	0.1	3.60	12	86	14
C2	0.1	35	13	59	41
	10	31	123	86	14
C3	60	44	38	91	9
	70	43	77	88	12

Los tres corredores son atravesados por carreteras federales de doble carril, en las cuales el mayor flujo vehicular ocurre durante el día. En adición, los corredores que conectan al Área Natural Protegida Sierra Fría con la de Sierra Morones, también son cruzados por una carretera municipal (segundo corredor) y dos estatales (tercer corredor), ambas de doble carril y con bajo flujo vehicular (Cuadro 5).

Cuadro 4. Estadística de las zonas estrechas de cada corredor con diferente porcentaje de permeabilidad. PEA y PEa= Puntos estrechos por arriba y abajo del umbral (500 m).

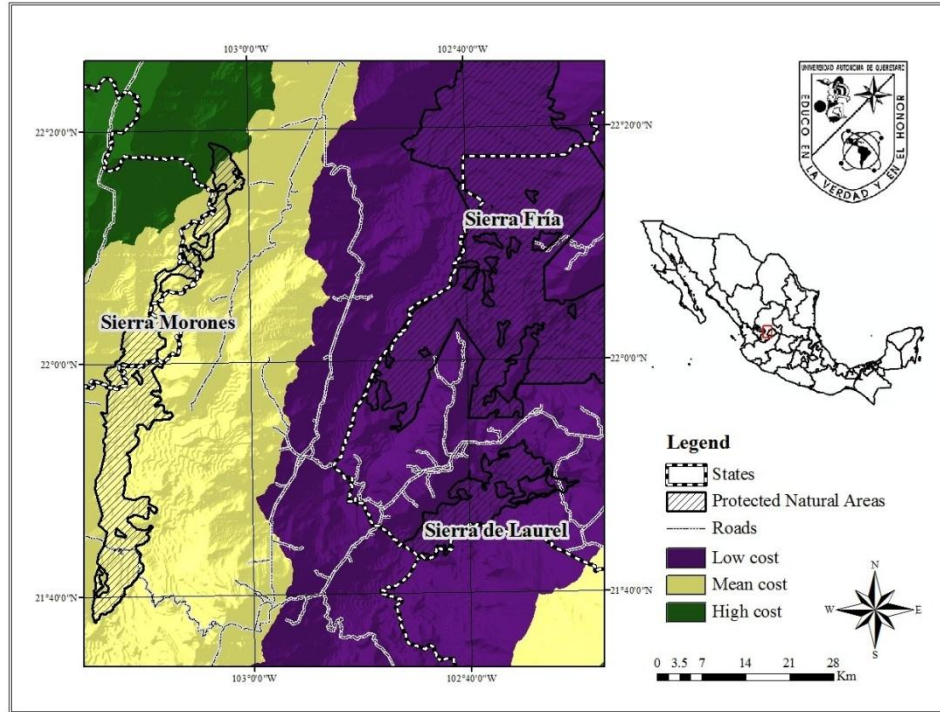
Estadística	C1	C2	C3		
Permeabilidad (%)	0.1	0.1	10	60	70
NSA (%)	100	13	100	73	100
NSB (%)	-	87	-	27	-
Ancho Mínimo*	1.02	0.07	0.67	0.11	0.49
Ancho Máximo*	1.87	0.77	3.96	1.51	3.36
Media del Ancho*	1.53	0.33	2.02	0.67	1.23
Desviación Estándar de Ancho*	0.26	0.14	0.59	0.27	0.57

*km

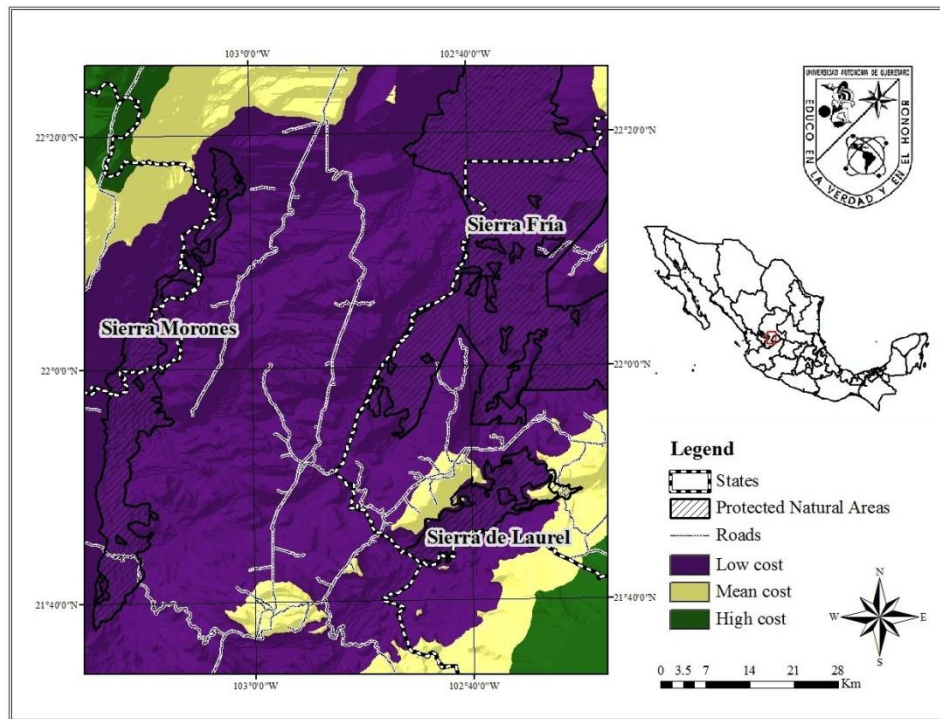
Cuadro 5. Longitud de los tramos de carretera que atraviesan las rutas de menor costo para el puma entre las áreas naturales protegidas.

LCP	Permeabilidad (%)	Carreteras	Longitud (km)
C1	0.1	Libre Federal Ags - Jalpa	1.89
		Libre Federal Gdl. - Zac.	0.39
C2	0.1	Libre Municipal Ramal-Cosalima	0.32
		Libre Federal Gdl. - Zac.	1.95
	10	Libre Municipal Ramal-Cosalima	2.77
		Libre Federal Gdl. - Zac.	0.84
C3	60	Estatad Ramal-Joaquín Amaro	0.69
		Libre Federal Gdl. - Zac.	1.72
	70	Estatad Ramal-Joaquín Amaro	1.48
		Estatad Libre Ramal-Col Adolfo	0.40
		López Mateos	

Ags = Aguascalientes, Gdl = Guadalajara, Zac = Zacatecas



(A)



(B)

Figura 7. Raster de Costo. A) Interacción entre el Área Natural Protegida Sierra Fria al Área Protegida Sierra del Laurel PNA. B) Interacción hacia el Área Protegida Sierra Morones

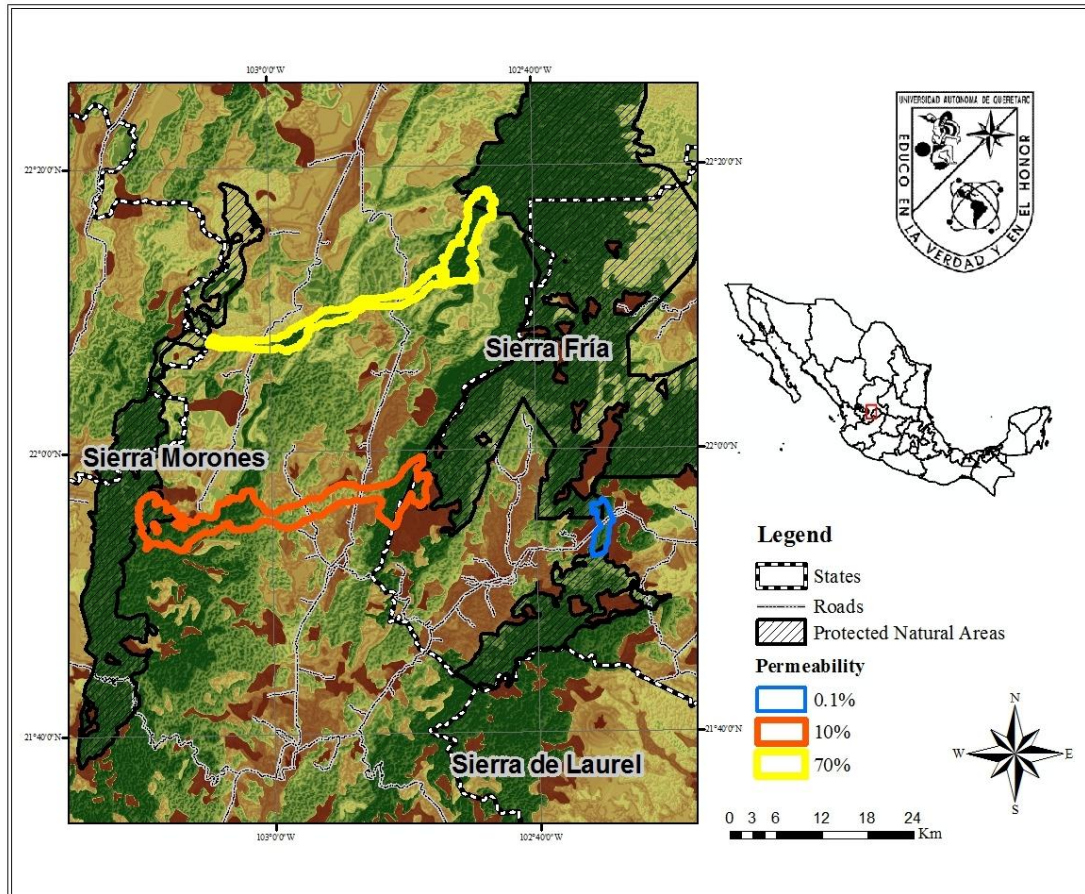


Figura 8. Rutas de Menor Costo identificadas entre las áreas naturales protegidas en el centro de México.

7.3. Validación en Campo

Fueron encuestadas un total de 50 comunidades, de las cuales, 32 se encuentran dentro (12) y fuera (20) del primer corredor en el estado de Aguascalientes. Para el estado de Zacatecas, solo se encuestaron comunidades dentro de los corredores, 11 para el segundo y 7 para el tercero, esto debido a la inseguridad ocasionada por el tráfico de drogas que enfrenta el estado. Se realizaron 86 entrevistas, donde la mayoría de las personas se dedican a la agricultura (50%) con un rango de edades es de 24-80 años, mientras que el 23.8 % se dedican a otras actividades como la ganadería, comercio, apicultura o

carpintería. Fueron eliminadas seis entrevistas, debido a la antigüedad de los datos proporcionados (> 5 años), por lo que 26 verificaron la presencia del puma en el primer corredor, 18 en el segundo y 10 en el tercero, mientras que el resto (n = 26) no lo detectaron ya que son zonas con alto impacto humano. La mayoría de estas últimas son las obtenidas en las comunidades que se encuentran fuera del primer corredor.

Del total de las entrevistas, se obtuvieron 180 registros de puma, a los cuales se les añadieron 16 registros colectados por biólogos de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, dando un total de 196 registros de puma en el área de estudio (Figura 9). De éstos, 166 son registros positivos sobre su presencia y 30 son negativos. Dentro de los principales tipos de registros identificados son los avistamientos (el más común), rastros (huellas, garras, dientes, excrementos, carne de puma), cadáveres de presas como venado y jabalí, pumas cazados, rascaderos y la vocalización del felino.

En cuanto a los datos obtenidos en las entrevistas, se encontró que la mayoría de los registros han sido obtenidos con una frecuencia de uno o tres años, y que los pobladores de comunidades más cercanas a las áreas protegidas han observado pumas con mayor frecuencia (uno cada 1-3 meses). La mayoría de las entrevistas, indican que los registros por lo general se han presentado a menos de un kilómetro de las comunidades que cuentan con una población total menor a los 50 habitantes, seguido de 1-5 km de éstas, sin encontrar diferencias significativas entre las estaciones de secas y lluvias (Figura 10).

Se obtuvieron los valores de densidad poblacional humana para cada uno de los registros, encontrando que su distribución se encuentra relacionada con la densidad poblacional humana, ya que los sitios con alta densidad poblacional es muy rara la presencia del puma, mientras que en sitios con baja o nula densidad poblacional, hay mayor número de registros (Figura 11). De igual forma, se encontró que la distancia de los registros hacia los corredores muestra una

relación positiva, pues existe mayor cantidad de registros cerca de cada corredor (Figura 12).

El resultado de la X^2 general, indica que los registros no se ajustan a una distribución uniforme, lo cual indica que los pumas seleccionan preferentemente las zonas donde están los corredores ($X^2 = 30.37$, $gl = 2$, $P = 0.05$). De igual forma, al analizar la distribución de los registros en cada franja de cada corredor, los resultados mostraron una diferencia entre los internos y los externos, lo que significa que existe una diferencia para cada franja.

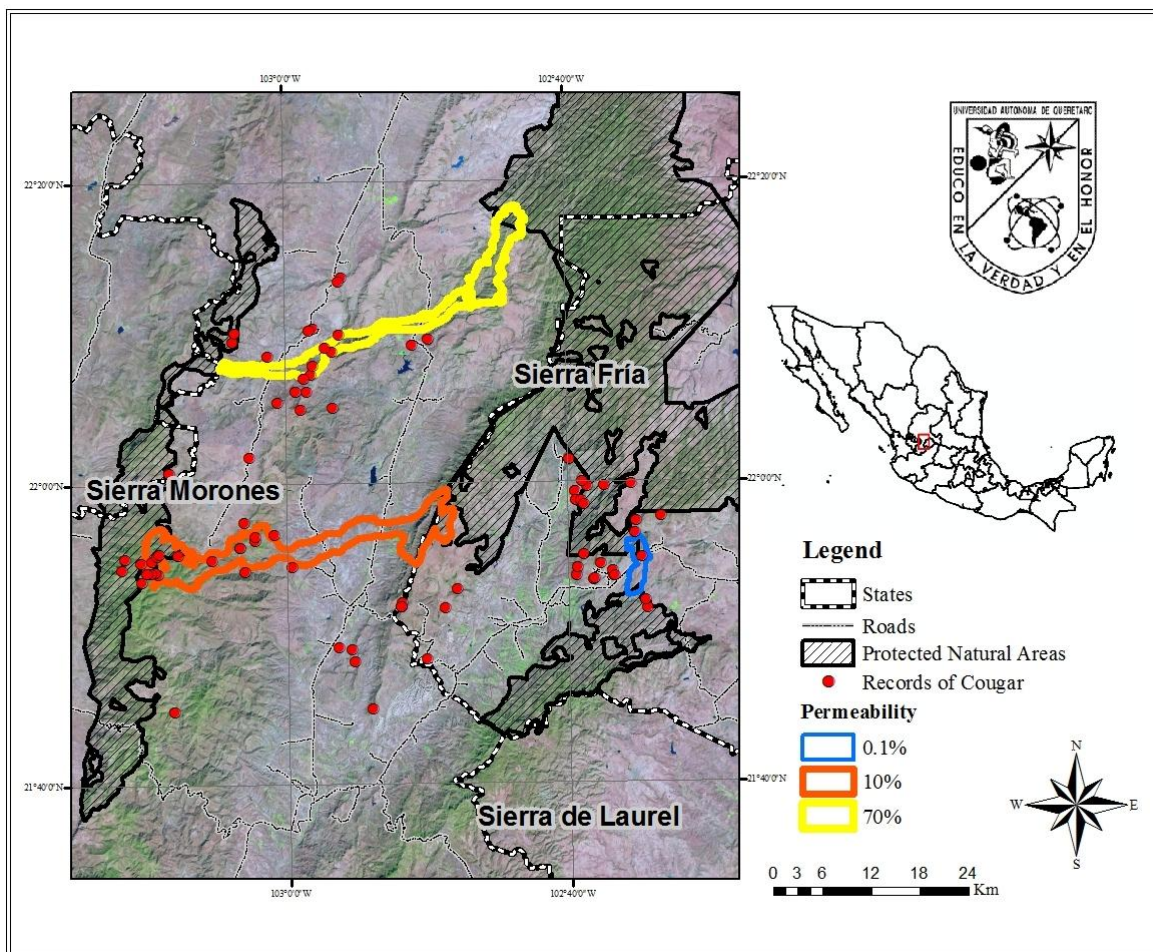
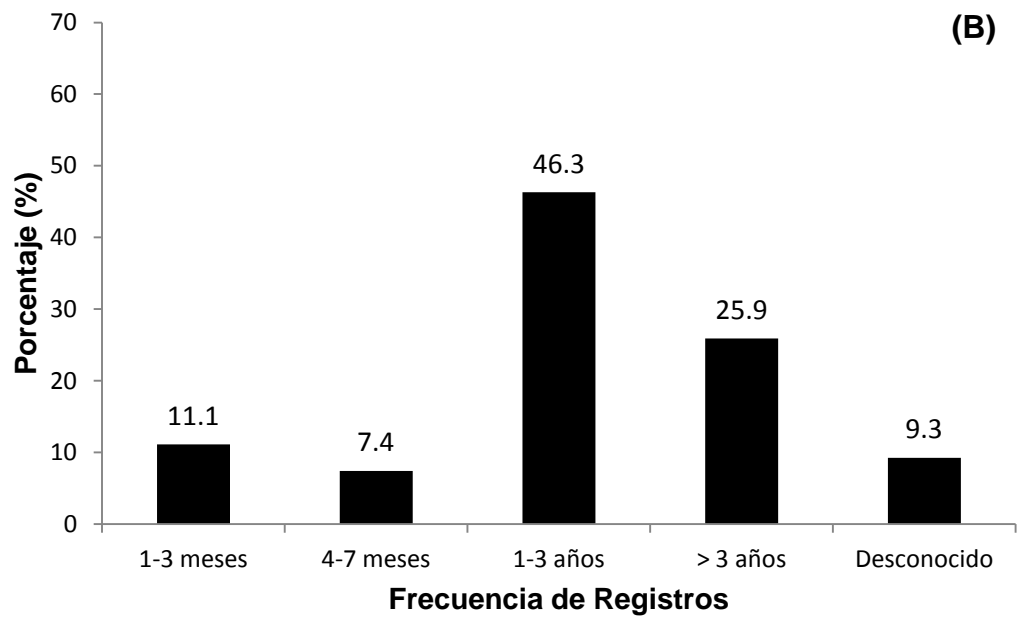
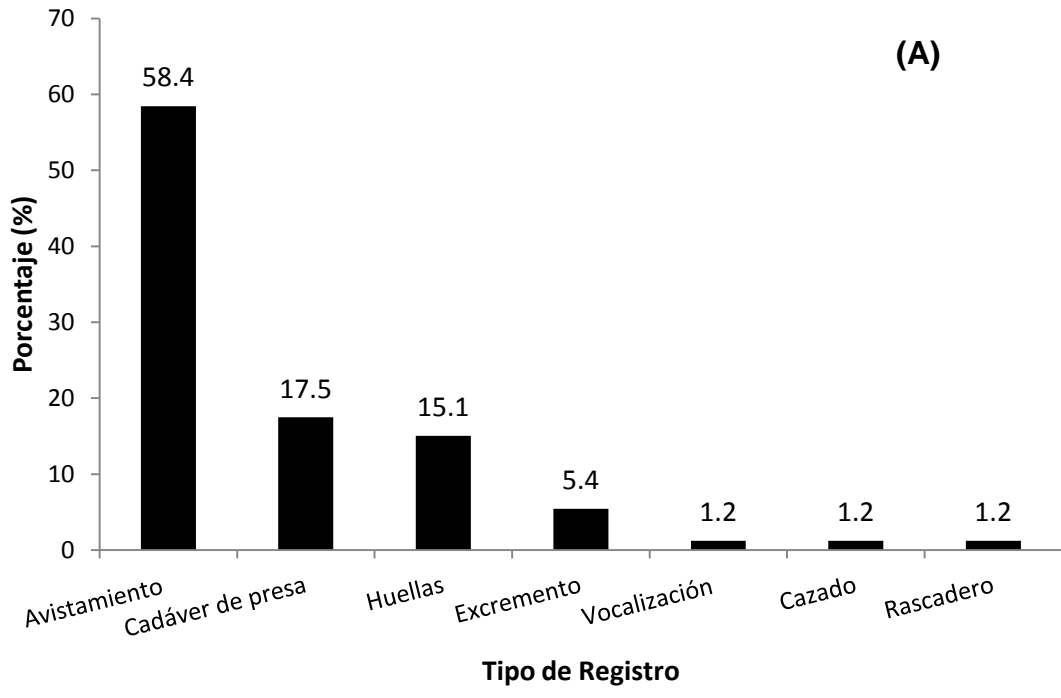


Figura 9. Rutas de Menor Costo con diferente porcentaje de permeabilidad entre las áreas protegidas, donde se detectó la presencia del puma con los registros obtenidos por biólogos y en las entrevistas.



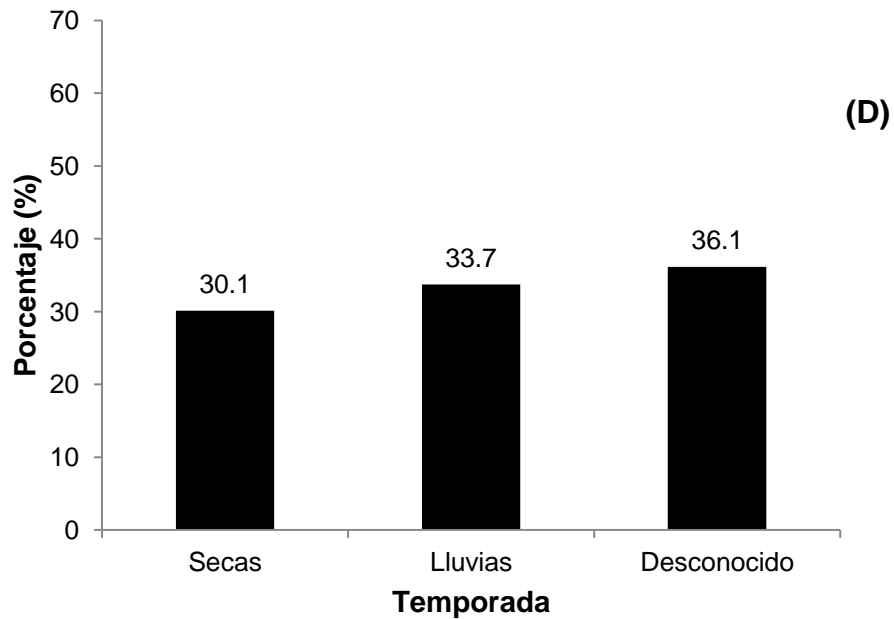
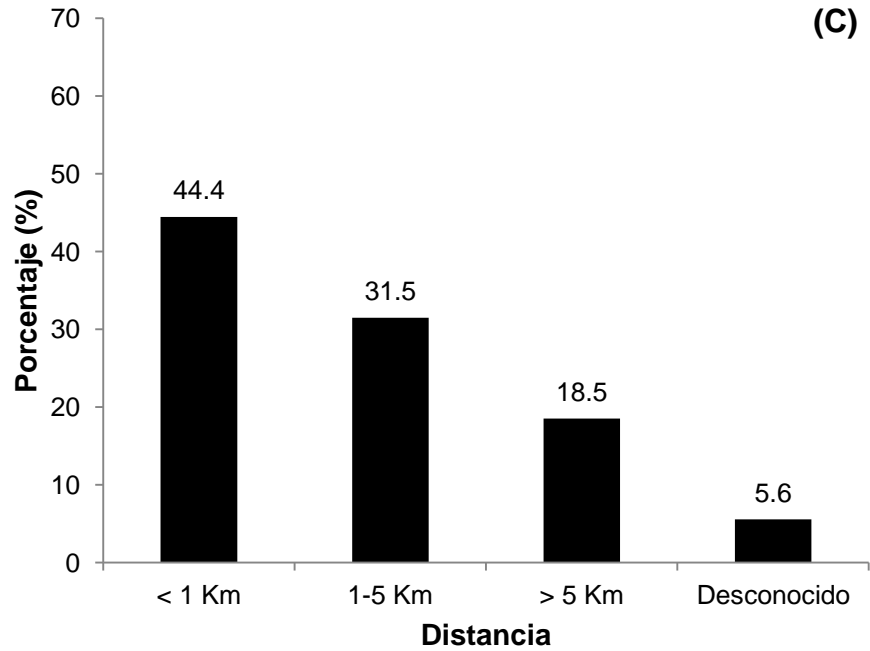


Figura 10. A) Tipos de Registro de la Presencia del Puma obtenidos en las entrevistas y por biólogos. B) Frecuencia de registros. C) Distancia a las comunidades. D) Temporada en la que fueron encontrados los registros.

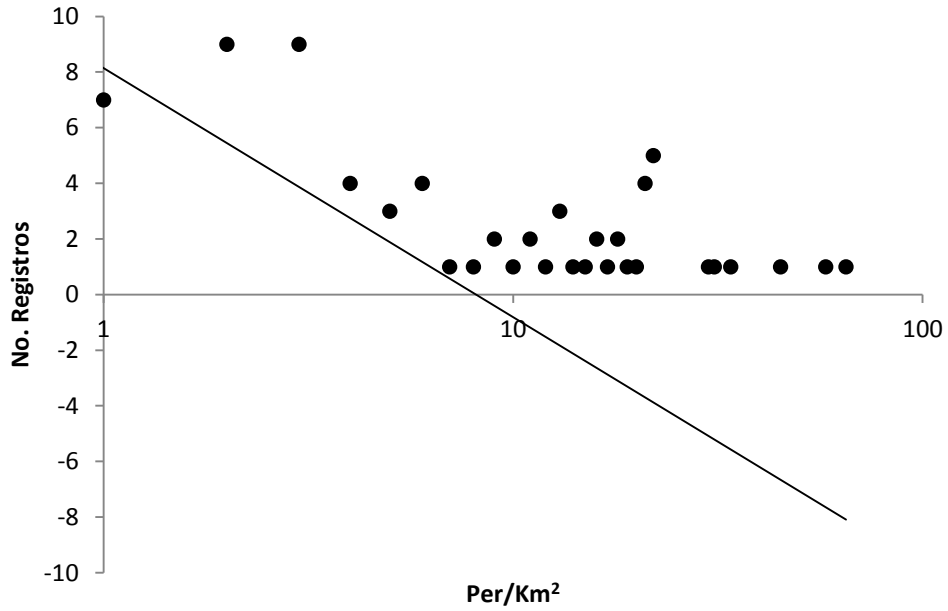
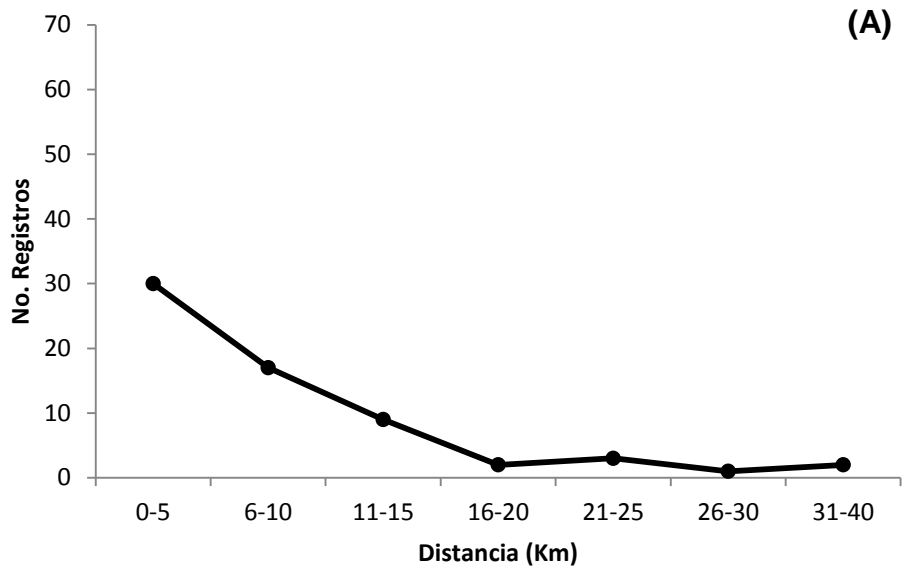
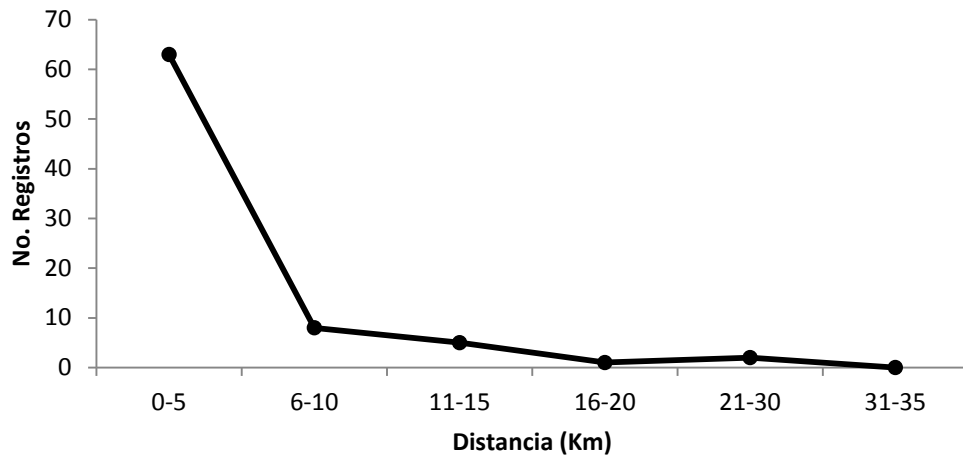


Figura 11. Relación inversamente proporcional entre la densidad poblacional humana y el número de registros de puma en el área de estudio.



(B)



(C)

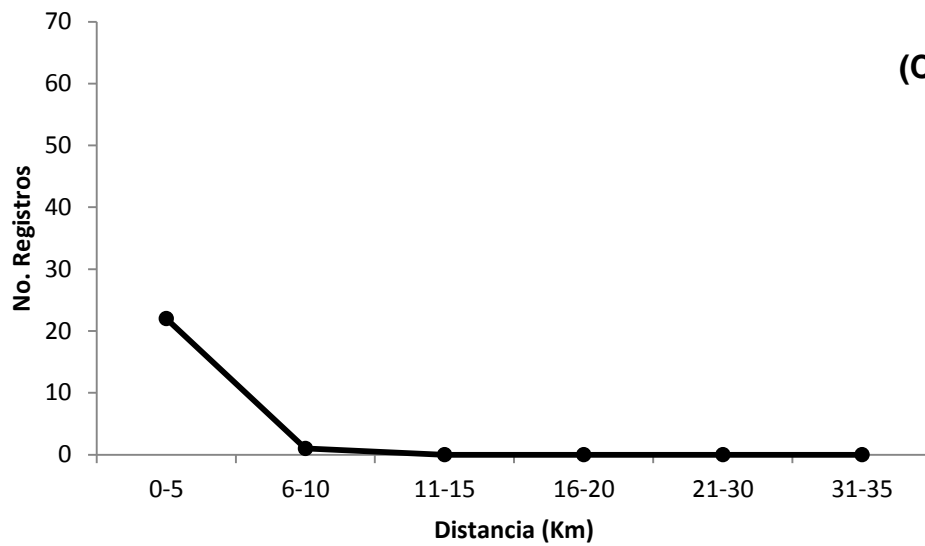


Figura 12. Relación entre el número de registros de cada interacción y su distancia al corredor. A) Corredor 1. B) Corredor 2. C) Corredor 3.

8. DISCUSIÓN

El puma cuenta con una amplia distribución en la mayor parte del Continente Americano (López-González & González-Romero, 1998; Hemes 2004; Caso, et al., 2008), donde la mayoría de la información sobre su ecología, comportamiento, y uso de hábitat se concentra en los Estados Unidos y Canadá (Hornocker and Negri, 2010). En México existen trabajos acerca del uso de hábitat del puma (Monroy-Vilchis, et al. 2007; Rodríguez-Soto, C. 2007) pero poco se sabe acerca de la interacción entre la estructura del paisaje y sus movimientos poblacionales, por lo que este trabajo es el primero en México en evaluar la conectividad funcional del paisaje a través de la identificación y descripción de corredores potenciales de dispersión para las poblaciones de puma.

Para predecir sus patrones de dispersión en el paisaje es necesario entender con detalle el hábitat del puma (Shrader-Frechette, 2004). Esto es una forma indirecta de conservar la especie, identificando las características de hábitat que requiere (*Cougar Management Guidelines Working Group*, 2005) para así generar información sobre las áreas y recursos que tienen influencia sobre la adecuación de los individuos y la viabilidad de las poblaciones (Land et al., 2007). Lo anterior, se ve reflejado en los resultados del modelo de hábitat adecuado, donde se observa que el área de estudio aún cuenta con el 35 % de hábitat en buen estado (4, 236.13 km²), concentrándose principalmente en las áreas naturales protegidas, las cuales pueden ser capaces de soportar poblaciones viables de pumas, siempre y cuando no aumente la pérdida de hábitat a sus alrededores.

Más de la mitad del área de estudio (65%), se encuentra altamente impactada por actividades antropógenicas, con grandes extensiones de hábitat deteriorado como zonas de topografía poco accidentada como los valles intermontanos, encontrados entre las áreas naturales protegidas, generando un mosaico de parches de diferentes tamaños (Chapa- Bezanilla et al., 2008). Por

ello, la identificación de pequeños parches de hábitat entre estas áreas es de suma importancia ya que estos pueden servir para mantener una población sumidero (Sweaner et al., 2000; Laundré y Clark, 2003; Hornocker y Negri, 2010) o bien únicamente como islas que permiten la migración hacia otros parches (Beier et al., 2000). Tal es el caso del único parche potencial para reproducción identificado en este estudio, pues áreas inferiores a 100 km² son muy pequeñas para ser autosuficientes y biológicamente son consideradas sumideros debido al pequeño número de individuos residentes (Laundré y Clark, 2003) como una pareja reproductiva en el cortejo o bien a pumas juveniles en edad de dispersión (Majka et al., 2007; Beier et al., 2010).

Los movimientos de dispersión de los pumas por lo general ocurren a través de hábitat adecuados (Hornocker y Negri, 2010), los cuales no siempre se encuentran de forma continua, por lo que se ven forzados a cruzar por zonas no adecuadas de manera rápida, utilizando parches muy pequeños como escalones (Beier et al., 2007; Hornocker y Negri, 2010), que pueden facilitar el desplazamiento del puma a través de un paisaje fragmentado, como los identificados en el modelo. Estos parches están propensos a desaparecer ya que son áreas muy pequeñas y se encuentran en zonas donde las actividades humanas como la agricultura (cultivos de guayaba) están en constante aumento (Biodiversidad del Estado de Aguascalientes, 2008). Estos pequeños parches, no fueron identificados dentro de los corredores, ya que la mayor parte de estos, están compuestos de áreas con alta calidad de hábitat y pocas áreas no son adecuadas para el puma. Estas últimas, debido a que no son extensas, no representan un gran esfuerzo para los pumas al cruzarlas, pues se han encontrado ejemplares utilizando corredores que se encuentran en zonas con alto impacto humano (Beier, 1993)

La conectividad del paisaje y la robustez de una población fuente, es esencial para mantener la estructura y estabilidad metapoblacional del puma (*Cougar Management Guidelines Working Group*, 2005; Hornocker and Negri,

2010), por lo que la identificación y protección de áreas naturales con alta calidad de hábitat, donde el uso del suelo es regulado y sean seguras para una población fuente de pumas, es necesaria para la persistencia de sus poblaciones. Existen áreas protegidas como Sierra Fría donde los disturbios tanto naturales como antropogénicos han provocado la fragmentación del bosque en zonas con pendientes ligeras y a sus alrededores (Chapa-Bezanilla et al., 2008). Esta región, aparentemente está quedando aislada, amenazando la estabilidad de las poblaciones del puma, que al ocupar pequeñas regiones aisladas, tienen un alto riesgo de ser extirpadas. Tanto los pumas como sus presas requieren de corredores que permitan su dispersión entre áreas (*Cougar Management Guidelines Working Group, 2005*).

Los resultados del LCP muestran que existe conectividad funcional entre el Área Natural Protegida Sierra Fría hacia las áreas protegidas adyacentes (Laurel y Morones), al identificar tres corredores de dispersión los cuales son utilizados por los pumas para desplazarse entre parches de hábitat. Esto concuerda con Crooks y Sanjayan (2006) y Sepulveda et al. (1997) quienes mencionan que las áreas protegidas deben contar con alta conectividad para mantener poblaciones genéticamente viables de animales con amplia distribución como el puma, pues una red de parches permite combinar los patrones del paisaje con la dinámica metapoblacional de las especies, para entender de mejor manera la influencia de la fragmentación sobre las poblaciones como las de puma (Baggion et al., 2011)

Para entender el movimiento en las redes de parches es necesaria la identificación de corredores potenciales de dispersión, los cuales conectan a dos o más blocks de hábitat, facilitando los movimientos de las especies a través del paisaje (Beier and Noss, 1998). Por ello, la identificación de las rutas de menor costo ayuda a entender la permeabilidad del paisaje de grandes carnívoros como el puma y sobre todo a comprender el esfuerzo que un individuo tiene que realizar para moverse entre parches de hábitat (Adriaensen, et al., 2003).

Estos movimientos de dispersión por lo general son llevados a cabo por pumas jóvenes desde su área natal con la finalidad de establecer territorios o bien por adultos para reproducirse o ir en busca de alimento (Hornocker y Negri, 2010). La distancia media de dispersión para machos estimada por Beier (1995) es de 63 km, mientras que el promedio del análisis de ocho estudios en el oeste de Estados Unidos y Canadá es de 49 a 483 km (Hornocker y Negri, 2010). Lo anterior sugiere, que la longitud de los tres corredores (3.6, 31 y 43 km) diseñados entre las áreas naturales protegidas del centro de México, es corta en relación a las distancias de dispersión de los machos adultos, quienes por lo general se dispersan mayores distancias que las hembras, por lo que se puede inferir que estos corredores no representan un gran costo energético para la movilidad de los pumas, cumpliendo con el perfil de las rutas de menor costo.

Beier (1995) sugiere que los corredores utilizados por los pumas con distancias de 1 a 7 km deben tener más de 400 m de ancho, lo que concuerda con los resultados obtenidos para el primer corredor (Sierra Fría-Sierra de Laurel) ya que cuenta con una distancia menor a los 7 km con buena calidad de hábitat y el punto más estrecho se encuentra por arriba del umbral establecido (500 m). A diferencia de este corredor, la primera franja del segundo y tercer corredor (sureste y noreste de Sierra Fría), a pesar de que cuentan con hábitat en buen estado (59 y 91%, respectivamente) no son muy favorables para el desplazamiento del puma debido a que el 87 y 73% de estos son muy estrechos (< 500 m). Esto último, concuerda con Collinge (2009), quien menciona que algunas especies de animales como el puma evitan activamente corredores que no son lo suficientemente amplios. A partir de lo anterior, fue necesario considerar como parte de los corredores una segunda franja de permeabilidad (10 y 70%) aumentando su ancho que sobrepasa el umbral, convirtiéndolos en corredores apropiados para el desplazamiento del puma.

Un impacto adicional en el paisaje es la presencia de carreteras entre parches de hábitat, las cuales incrementan directamente la mortalidad de animales

que se mueven de un parche a otro (Gloyne y Clevenger, 2001; Hornocker y Negri, 2010). Esto no se vio reflejado en el presente trabajo, dado que ninguna de las carreteras de doble carril que cruzan por los corredores es altamente transitada por las noches, por lo que consideramos que actualmente no representan un alto peligro para este felino. Esta conclusión es apoyada debido a que hasta la fecha no se ha registrado ningún atropellamiento, sin embargo, no se descarta la posibilidad que tal vez han existido incidentes, donde solo el responsable o cierto número de personas tienen conocimiento.

El diseño de corredores por medio de sistemas de información geográfica es una forma de inferir sobre los movimientos del puma a través del paisaje que actualmente se ha visto altamente modificado (Rabinowitz y Zeller, 2010). Su validación en campo ayuda a entender de mejor manera la importancia de estos corredores. La aplicación de entrevistas semi-estructuradas a los pobladores de las comunidades no solo corroboró el uso de las rutas de menor costo por el puma para desplazarse, sino también permitió obtener información sobre su biología y comportamiento ante las actividades antropogénicas, como el hecho de no evitar zonas con más de 50 habitantes.

Según los entrevistados los pumas son vistos cada uno a tres o más años dentro de los corredores, lo que posiblemente se deba a que los pumas jóvenes mayores a un año de edad abandonan su área natal para dispersarse a otras zonas (Logan y Sweanor, 2001). Durante su viaje de dispersión es probable que se enfrenten a barreras como carreteras o zonas urbanas, con el riesgo de morir (Logan y Sweanor, 2001; Hornocker y Negri, 2010). Sin embargo los datos de las entrevistas reflejan que los pumas no evitan las zonas donde la población total de las comunidades es > 50 habitantes. Esto no significa que no corran riesgo, pues existen personas que debido a la falta de recursos económicos se dedican a la caza de pumas para la obtención de grasa, carne y pieles para poder subsistir (Don Santos. *Com. Pers.*), poniendo en riesgo la estabilidad de las poblaciones de este felino.

Las áreas protegidas son consideradas como poblaciones fuente, si estas son lo suficientemente grandes y con baja presión humana (Laundré y Clark, 2003). Por lo que este trabajo es una iniciativa para comenzar a evaluar la dinámica metapoblacional del puma en el centro de México e identificar corredores de dispersión entre las áreas naturales protegidas que existen a lo largo de su distribución, debido a que son menos propensas a ser alteradas y son capaces de suministrar pumas dispersores a las áreas sumidero (Laundré y Clark, 2003). Este trabajo también contribuye y complementa la escasa información de las poblaciones de puma en Latinoamérica (Hornocker y Negri, 2010)

Por otro lado, este trabajo muestra una manera de identificar zonas que cuentan con alta calidad de hábitat que actualmente no se encuentran bajo ningún estatus de protección y son utilizadas por especies sombrilla como el puma. Tal fue el caso, al identificar registros en una pequeña región montañosa localizada entre las áreas protegidas Sierra Fría y Sierra Morones, la cual puede desaparecer si no se tiene un control sobre las actividades antropógenicas en la zona. El estudio de los pumas puede aportar información para generar estrategias de conservación que beneficien a más especies, pues ayudan a establecer límites sobre las actividades humanas que degradan zonas importantes como los corredores (Beier, 2010).

9. CONCLUSIONES

La Áreas Naturales Protegidas del centro de México aún cuentan con hábitat en buenas condiciones para el puma, el cual puede soportar poblaciones viables de este felino. Así mismo, entre estas áreas, a pesar de estar rodeadas por una matriz altamente fragmentada, aún existe conectividad funcional a través de las rutas de menor costo utilizadas por los pumas.

Estas rutas, favorecen el desplazamiento de los pumas entre los parches de hábitat del sitio, ya que su longitud es menor a lo que estos llegan a desplazarse, implicándoles un bajo costo energético y por ende menor riesgo de mortalidad al cruzar por zonas fragmentadas.

Para poder diseñar corredores potenciales de dispersión para el puma a lo largo de su distribución, es necesario conocer la estructura del paisaje y los requerimientos de hábitat de este depredador, ya que cada localidad se encuentra arreglada espacialmente de diferente manera.

El análisis de hábitat adecuado en conjunto con el diseño de corredores es una efectiva estrategia para proponer la protección de espacios naturales que no han sido contemplados y son importantes para la especie.

Los pumas evitan las zonas con alta densidad poblacional humana, aunque son tolerantes a las comunidades con bajos números poblacionales y a las carreteras de bajo flujo vehicular, si éstas se encuentran dentro de los corredores por los cuales se dispersan.

Mantener la conectividad funcional entre las Áreas Naturales Protegidas favorece la prevalencia de la estructura metapoblacional de especies como el puma.

10. RECOMENDACIONES

Debido a la escasa información que existe sobre las poblaciones de puma en el centro de México, es probable que enfrenten serias amenazas que provoquen su extinción local, debido a la reducción y aislamiento de las Áreas Naturales Protegidas. Por lo que es conveniente poner atención en los tres corredores identificados en este estudio, para su futura conservación. Pues las decisiones acerca de la inversión sobre estos dependen de su área, longitud y calidad de hábitat en la que se encuentra, así como de la aceptación pública y el costo que implica su restauración o manejo.

Ya que las Áreas Naturales Protegidas están destinadas a la preservación de los recursos naturales y la protección de la flora y fauna, es importante comenzar a identificar aquellas que estén más susceptibles al aislamiento, debido a la pérdida y fragmentación del hábitat. Esto con la finalidad de identificar conexiones entre ellas en zonas no protegidas y sobre todo aumentar el conocimiento de la dinámica metapoblacional del puma entre áreas conservadas que pueden servir para mantener poblaciones fuente de pumas. Así mismo, identificar pequeños parches con alta calidad de hábitat que faciliten su desplazamiento o bien que sirvan como sumidero.

El análisis del hábitat junto con el diseño de corredores, ayuda a identificar áreas con alta calidad del puma que no están bajo ningún estatus de protección y que son importantes para el puma. Esto, puede ser una herramienta importante para realizar propuestas de extensión de las áreas protegidas, no solo garantizando la conservación de las poblaciones del puma sino de muchas especies más y del mismo paisaje.

A lo largo de la distribución del puma, existe una gran variedad de hábitat, por lo que los requerimientos del puma pueden variar e incluso ser específicos de cada localidad. Por lo que se recomienda utilizar una mezcla de técnicas que generen información sobre las variables que tienen influencia en la calidad de hábitat del puma para que el análisis de hábitat y el diseño de corredores sea lo

más detallado posible. Las técnicas más usadas y recomendadas son la revisión exhaustiva de literatura, datos obtenidos en campo, entrevistas a los pobladores de comunidades y la más cara pero con mayor éxito, la telemetría.

Dado a que los pumas muestran cierta tolerancia a la presencia humana dentro de los corredores, es importante realizar programas de educación ambiental dirigidos a los pobladores de las comunidades que se encuentran dentro y cerca de estas áreas, transmitiendo la importancia de este depredador en el ambiente. O bien, llegar a un acuerdo con los propietarios de tierras privadas para la protección del sitio sin afectar sus necesidades.

11. LITERATURA CITADA

- Adriaensen, F., J. P. Chardon, G. De Blust, E. Swinner, S. Villalba, H. Gulinck and E. Matthysen. 2003. The Application of Least-Cost Modelling as a Functional Landscape Model. 64:233-247
- Baggio, J. A., K. Salau, M. A. Janssen, M. L. Schoon and O. Bodin. 2011. Landscape Connectivity and Predator-Prey Population Dynamics. Landscape Ecology 26:33-45
- Beier, P. 1993. Determining Minimum Habitat Areas and Habitat Corridors for Cougars. Conservation Biology. 7 (1): 94-108
- Beier, P. 1995. Dispersal of Juvenile Cougars in Fragmented Habitat. Journal of Wildlife Management. 59(2):228-237.
- Beier, P. and F. Noss. 1998. Do Habitat Corridors Provide Connectivity?. Conservation Biology, 12 (6): 1241-1252
- Beier, P. M.R. Vaughan, M.J. Conroy and H. Quigley. 2003. An Analysis of Scientific Literature Related to the Florida Panther. Final Report. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Tallahassee, Florida, USA.
- Beier, P., D. Majka and J. Jenness. 2007. Conceptual Steps for Designing Wildlife Corridors. Corridor design.org
- Broquet, T., N. Ray, E. Petit, J. M. Fryxell and F. Burel. 2006. Genetic isolation by distance and landscape connectivity in the American marten (*Martes americana*). Landscape Ecology 21:877–889
- Burton, A. M. 2006. Puma Abundance on the Colima Volcanic Complex, Western Mexico. Revista Mexicana de Mastozoología. 10:92-99
- Caso, A., Lopez-Gonzalez, C., Payan, E., Eizirik, E., de Oliveira, T., Leite-Pitman, R., Kelly, M., Valderrama, C. & Lucherini, M. 2008. Puma concolor. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.4. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 30 May 2011.
- Chapa-Bezanilla, D., J. S. Ramírez y A. A. Ávila. 2008. Estudio Multitemporal de Fragmentación de los Bosques en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. Madera y Bosques. 14(1): 37-51

- Chetkiewicz, C.L.B., C. C. Clair and M. S. Boyce. 2006. Corridors for Conservation: Integrating Pattern and Process. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2006. 37:317–42
- CONABIO.2000. Sierra Fría, Regiones Terrestres Prioritarias de México – 66. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_066.pdf. Consultado 1 de agosto de 2010
- Cougar Management Guidelines Working Group. 2005. Cougar management guidelines. WildFutures, Bainbridge Island, WA.
- Crooks, K. R. and M. Sanjayan. 2006. Connectivity Conservation. Conservation Biology Book Series, Cambridge University Press. US. 712 Pag.
- De la Cerda, L. M. 1982. Inventario y distribución de las gimnospermas y angiospermas del estado de Aguascalientes. Estudio taxonómico y ecológico de la flora y fauna del estado de Aguascalientes. No. I. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México.
- De la Cerda, L. M. 1989. Cactáceas de Aguascalientes. Segunda edición. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México.
- De la Cerda, L. M. 1999. Encinos de Aguascalientes. Primera edición. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México.
- De la Riva, G., J. Vázquez y G. Quintero. 2000. Vertebrados terrestres de la Serranía “El Muerto” Aguascalientes México. *Investigación y Ciencia, UAA.* 21:8-15
- De la Torre J.A. and G. de la Riva. 2009. Food Habitats of Pumas (*Puma concolor*) in Semiarid Region of Central Mexico. *Mastozoología Neotropical.* 16(1): 471-162
- Dickson, B.G. and P. Beier. 2002. Home-Range and Habitat Selection by Adult Cougars in Southern California. *Journal of Wildlife Management.* 66(40):1235-1245
- Dickson, B.G. and P. Beier. 2007. Quantifying the Influence of Topographic Position on Cougar (*Puma concolor*) Movement in Southern California, USA. *Journal of Zoology.* 271:270-277

- Dickson, B.G., J.S. Jenness and P. Beier. 2005. Influence of Vegetation, Topography, and Roads on Cougar Movement in Southern California. *Journal of Wildlife Management*. 69(1):264-276
- Estrada H. C.G. 2006. Dieta, Uso de Habitat y Patrones de Actividad del Puma (Puma concolor) y el Jaguar (Panthera onca) en la Selva Maya. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias.
- Ferreras, P. 2001. Landscape Structure and Asymmetrical Inter-patch Connectivity in a Metapopulation of the endangered Iberian lynx. *Biological Conservation* 100: 125-136
- Gloyne, C.C. & Clevenger, A.P. 2001: Cougar *Puma concolor* use of wildlife crossing structures on the Trans-Canada highway in Banff National Park, Alberta. - *Wildl. Biol.* 7: 117-124.
- González- Saucedo, Z. Y. y G. E. Quintero-Díaz. 2009. Abundancia Relativa y Dieta de los Félidos Silvestres del Arroyo el Capulín. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- González-Alaniz, M. H.1997. Evaluación de los Agostaderos de Aguascalientes y su potencial de mejoramiento. Cuadernos de trabajo de Agricultura y Recursos Naturales. No. 65. Gobierno del Estado de Aguascalientes, México. 44 p.
- González-Sierra, E. R. 2006. Uso de Habitat y Ambito Hogareño del Puma (Puma concolor) en la Sierra de San Luis, Sonora, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Cd. Juárez.
- Hasselbach, H. M. 1996. Diversidad Biológica de la Sierra Fría. Gobierno del Estado de Aguascalientes. Cuaderno de Trabajo (Agricultura y Recursos Naturales), 44: 20 p.
- Hasselbach, H. M. y M. S. C. Pérez. 2001. Guía de Mamíferos de Aguascalientes. Ayuntamiento de Aguascalientes. México. 210 pp.
- Hermes, C. M. S. 2004. Abundancia Relativa del Jaguar (*Panthera onca*), Puma (*Puma concolor*) y Ocelote (*Leopardus pardalis*) en el Parque Nacional de

- Laguna Lachuá, Coban, Alta Verapaz. Tesis. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Hernández, R. P. C. 2007. Mastofauna Terrestre de la Sierra de Laurel, Calvillo, Aguascalientes, México. Tesis. Centro de Ciencias Basicas. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Hornocker, M. and S. Negri. 2010. Cougar Ecology & Conservation. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA. 306 pp.
- IMAE. 2005. Estudio para el Establecimiento del Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Aguascalientes. Documento Interno. IMAE. Gobierno del Estado. México.
- INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Calvillo, Aguascalientes, Clave geoestadística 01003. 6 p.
- INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Huanusco, Zacatecas, Clave geoestadística 32018. 5 p.
- INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tabasco, Zacatecas, Clave geoestadística 32044. 6 p.
- INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Villanueva, Zacatecas, Clave geoestadística 32055. 6 p.
- Jones, A. P. 2004. Graph-theoretic Modeling of Functional Habitat Connectivity for Lynx on the Okanogan Highlands, Northern Washington. Thesis. Montana State University.
- Kaczensky P., R. Kuehn, B. Lhagvasuren, S. Pietsch, W. Yang, and C. Walzer. 2011. Connectivity of the Asiatic wild ass population in the Mongolian Gobi. *Biol. Conserv.* doi:10.1016/j.biocon.2010.12.013
- Kindlmann, P. and F. Burel. 2008. Connectivity Measures: a Review. *Landscape Ecology.* 23:879-890.

- Kuefler, D. B. Hudgens, N.M.Haddad, W.F.Morris and N.Thurgate. 2010. The conflicting role of Matrix Habitat as Conduits and Barriers for Dispersal. *Ecology* 91(4):944-950
- La Biodiversidad en Aguascalientes: Estudio de Estado. 2008. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes (IMAE), Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA). México.
- Land, E. D., D. B. Shindle, R. J. Kawula, J. F. Benson, M. A. Lotz and D. P. Onorato. 2007. Florida Panther Habitat Selection Analysis of Concurrent GPS and VHF Telemetry Data. *Management and Conservation*. 72 (3) 633-639
- LaRue, M. A. 2007. Predicting Potential Habitat and Dispersal Corridors for Cougars in Midwestern North America. Thesis. Southern Illinois University Carbondale
- Laundré, J. W., and T. W. Clark. 2003. Managing puma hunting in the western United States: Through a metapopulation approach. *Animal Conservation*. 6:159–70.
- Laurance, S. G. W. 2007. Landscape connectivity and biological corridors. In G. A. Schroth, B. Fonseca, C. A. Harvey, C. Gascon, H. L. Vasconcelos, and A. M. N. Izac (Eds.). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*, pp. 50–63. Island Press, Washington, DC.
- LauRe, M.A. and C.K. Nielsen. 2008. Modelling Potential Dispersal Corridors for Cougars in Minwestern North America Using Least-Cost Path Methods. *Ecological modelling* 212: 372–381.
- Lindenmayer, D.B. and H.A. Nix. 1993. Ecological Principles for the Design of Wildlife Corridors. *Conservation Biology* 7(3): 627-630
- Logan, K. A. and L. L. Swenar. 2001. *Desert puma: evolutionary ecology and conservation of an enduring carnivore*. Island Press, Washington, D.C., USA.

- López–González, C. A. & A. González–Romero. 1998. A Synthesis of Current Literature and Knowledge about the Ecology of the Puma (*Puma concolor* Linnaeus). *Acta Zoológica Mexicana (Nueva serie)* 75:171 – 190 pp.
- Maehr, D. S., E. D. Land, D. B. Shindle, O. L. Bass, and T. S. Hctor. 2002. Florida panther dispersal and conservation. *Biological Conservation* 106:187–197.
- Maehr, D.S. and J.A. Cox. 1995. Landscape Features and Panthers in Florida. *Conservation Biology* 9(5): 1008-1019
- Majka, D., P. Beier and J. Jenness. 2007. Corridor Designer ArcGIS Toolbox Tutorial. Corridordesign.org
- Medina-Torres, S. M., E. G. Moya, M. M. Olivas, H. V. Huerta, A. R. Manzanares y M. M. Menes. 2008. Factores que influyen en el Uso del Hábitat por el Venado Cola Blanca (*Odocoileus virginianus couesi*) en la Sierra del Laurel, Aguascalientes, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 24 (3): 191-212
- Meegan, R.P. and D.S. Maehr. 2002. Landscape Conservation and Regional Planning for the Florida Panther. *Southeastern Naturalist*. 1(3): 217-232
- Menke, K. 2008. Locating Potential Cougar Corridors in New Mexico Using a Least-Cost Path Corridor GIS Analysis. OFWIM 2008 Annual Meeting and Conference, Albuquerque, NM, October 28, 2008.
- Minor, E.S. and D. L. Urban. 2008. A Graph-Theory Framework for Evaluating Landscape Connectivity and Conservation Planning. *Conservation Biology* 22(2):297-307
- Moilanen, A. and M. Nieminen. 2002. Simple Connectivity Measures in Spatial Ecology. *Ecology* 83(4):1131-1145
- Monroy–Vilchis, O., C. Rodríguez–Soto, M. Zarco–González y V. Urios. 2007. Distribución, Uso de Hábitat y Patrones de Actividad de Puma y Jaguares en el Estado de México. AMMAC. 9° Congreso de Mastozoología: Mamíferos de México un Reto de Conservación Presente y Futuro. Autlan de la Grana, Jalisco. 51 Pág.
- Moye, V. P. 2007. Habitat Suitability Analysis for Mountain Lion (*Puma concolor*) on the Southern Cumberland Plateau. Thesis. University of the South

- Pullinger, M.G. and C.J. Johnson. 2010. Maintaining or Restoring Connectivity of Modified Landscape: Evaluating the Least-Cost Path Model with Multiple Sources of Ecological Information. *Landscape Ecol.* 25:1547-1560
- Rabinowitz, A. and K. A. Zeller. 2010. A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological Conservation* 143, 949-945
- Riley, S.J. and R. A. Malecki. 2001. A landscape analysis of cougar distribution and abundance in Montana, USA. *Environmental Management* 28(3) 317-323
- Rodríguez-Soto, C. 2007. Distribución y Uso de Hábitat de Felinos en la Sierra Nanchititla, Estado de México. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Rothley, K. 2005. Finding and Filling the “Cracks” in Resistance Surfaces for Least-cost Modeling. *Ecology and Society* 10(1): 4.
- Schwab, A. C. 2006. The Influence of Roads on the Florida Panther. Thesis. University of South Florida.
- Sepulveda, C., A. Moreira y P. Villarroel. 1997. Conservación Biológica Fuera de las Áreas Silvestres Protegidas. *Ambiente y Desarrollo.* 8 (2): 48 - 58.
- Shrader-Frechette, K. 2004. Measurement Problems and Florida Panther Models. *Southeastern Naturalist.* 3(1):37-50
- Simberloff D. and J. Cox. 1987. Consequences and Costs of Conservation Corridors. *Conservation Biology.* Vo. 1 (1): 63-71
- Siqueiros-Delgado, M., G. García-Regalado y M. De la Cerda- Lemus. 2006. Selva baja caducifolia en el estado de Aguascalientes, México. Memoria. Contribuciones presentadas en la modalidad de cartel. Congreso Mexicano de Ecología. P. 127
- Stoner, D.C., W. R. Rieth, M. L. Wolfe, M.B. Miecham and A. Neville. Long-Distance Dispersal of Female Cougar in a Basin and Range Landscape. *The Journal of Wildlife Management* 72 (4):933-939

- Sweaner, L. L., K. A. Logan, M.G. Hornocker. 2000. Cougar Dispersal Patterns, Metapopulation Dynamics and Conservation. *Conservation Biology* 4(3):798-808.
- Sweaner, L. L., K. A. Logan. 2001. Desert Puma, Evolutionary Ecology and Conservation of and Enduring Carnivore. Hornocker Wildlife Institute. Island Press. 464 p.
- Thompson, D. J., and J. A. Jenks. 2005. Long-distance dispersal by a subadult male cougar from the Black Hills, South Dakota. *Journal of Wildlife Management* 69:818–820.
- Thornton, C. and M.S. Quinn. 2009. Coexisting with Cougars: Public Perceptions, Attitudes, and Awareness of Cougars on the Urban-Rural Fringe of Calgary, Alberta, Canada. *Human-Wildlife Conflicts* 3(2):282-295.
- Tiefenbacher, J.P. and B. P. Teinert. 2009. Attitudes toward Jaguars and Pumas in Cielo Biosphere Reserve, México. Unpublished Manuscript.
- Valle-Rodríguez, S. 2006. Las Áreas Naturales Protegidas en México. Un ejemplo de Propuesta de Gestión de una Área Protegida y Plan de Manejo en “La Sierra de Monte Escobedo”, Zacatecas, México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Vázquez-Díaz. J. y G. E. Quintero–Díaz. 2005. Anfibios y Reptiles de Aguascalientes. CONABIO –CIEMA. México. 318 pp.
- Williams, J.C. and S. A. Snyder. 2005. Restoring Habitat Corridors in Fragmented Landscape Using Optimization and Percolation Models. *Environmental Modeling and Assessment* 10: 239-250

12. ANEXOS

Anexo 1. Entrevista semi-estructurada aplicada a los pobladores de las comunidades dentro y fuera de las comunidades.



Ruta de Menor Costo de Puma concolor en el Centro de México *Entrevista Semi Estructurada*

Comunidad: _____ Fecha: _____

Nombre: _____ Edad: _____

Ocupación: Ganadero ___ Agricultor ___ Jornalero ___ Comerciante ___ Otro _____

Cuanto tiempo se ha dedicado a esta ocupación: _____

1.- ¿Qué especies de gatos silvestres frecuenta los alrededores?

Frecuencia	Puma	Gato Montes	Ocelote	Otro _____
1-3 meses				
4-7 meses				
8-12 meses				
1-3 años				
> 3 años				

2.- ¿Usted ha visto al león/puma?

- Si ____, ¿Podría describirlo? _____
- No, solo rastro ____ otra persona ____ Nombre de la persona: _____
Localidad: _____

Historia: _____

4.- ¿En que temporada y por donde lo han visto?

Temporada	No.	Donde	Agua		Cultivos			Caminos			
			Si	No		Si	No	T	C	A	
Lluvia	1		P			D					
			A			F					
	2		P			D					
			A			F					
	3		P			D					
			A			F					

Secas	1		P			D					
			A			F					
	2		P			D					
			A			F					
	3		P			D					
			A			F					
Todo el Tiempo	1		P			D					
			A			F					
	2		P			D					
			A			F					
	3		P			D					
			A			F					

5.- ¿Fue observado solo o con crías? _____

6.- ¿En que horario ha sido observado? _____

7.- Otro tipo de registro:

Rastro	No.	X	Ubicación			Localidad	Agua	Cultivo	Caminos		
			T	S	B		S Ó N	S Ó N	T	C	A
Huella	1										
	2										
	3										
Excremento	1										
	2										
	3										
Rascaderos	1										
	2										
Cadáver	Venado	1									
		2									
		3									
	Jabalí	1									
		2									
		3									
	Guajolote	1									
		2									
	Ganado	1									
2											
Cadáver	Potrillos	1									
		2									
		3									
	Puma (*)	1									

		2										
	Otro	1										
		2										

T= Terracería, S = Sendero, B = Bordo, C = Carretera, A = Ambos

(*) ¿Conservaron la piel, cráneo ó garras? _____

9.- ¿Se ha llegado a acercarse a la comunidad? Si _____, No _____

Distancia		x
< 1 km	Cerca	
1-5km	Medio	
>5 Km	Lejos	

10.- ¿Que efecto considera que tiene el puma en la comunidad?

Bueno _____ Neutro _____ Malo _____ No sé _____

¿Por qué? _____

11.- ¿Usted cree que el puma cruza por aquí de sierra fría a sierra morones/sierra laurel?

- Si _____ ¿Por que? _____
- No _____ ¿Por donde cree que el puma pase de sierra a sierra? _____

Notas

1.-

2.-

Proceedings of the
10th Mountain Lion Workshop
Cougars: Conservation, Connectivity and Population Management



**MOUNTAIN LION
WORKSHOP 2011**
BOZEMAN, MONTANA

**Sanctioned by:
Western Association of Fish and Wildlife Agencies (WAFWA)**

**WAFWA Agency Host:
Montana Fish, Wildlife & Parks
Workshop Co-Host:
Wild Felid Research and Management Association (WFA)**



**Editors:
Jim Williams, Montana Fish, Wildlife & Parks
Hugh Robinson, Panthera
Linda Sweanor, WFA**

FUNCTIONAL CONNECTIVITY FOR PUMAS IN CENTRAL MEXICO

Zaira Y. Gonzalez-Saucedo, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales, Avenida de la Ciencias S/N, Colonia Juriquilla, C.P.76230, Querétaro, México, zayaglz@hotmail.com

Carlos A. Lopez Gonzalez, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales, Avenida de la Ciencias S/N, Colonia Juriquilla, C.P.76230, Querétaro, México, cats4mex@aol.com

Abstract: The transformation of natural habitat through human pressures results in the reduction and isolation of natural areas making them not suitable for maintaining viable populations of large carnivores, such as pumas, because dispersal is affected by the loss of connectivity between habitat patches. Consequently, the identification of corridors through a least-cost path analysis (LCPA) is an important tool to understand landscape permeability and dispersal for this felid. Sierra Fria, located in the State of Aguascalientes, is a natural protected area surrounded by a highly human-impacted landscape, conditions favorable for studying the effect of isolation and test models of LCPA for puma populations in Mexico. Our objective was to identify least- cost paths between protected natural areas and verify their use by cougars. Through the creation of a Geographic Information System (ArcGIS 9.3 and Corridor Design), a model for puma habitat was created to connect Sierra Fria-Sierra de Laurel and Sierra Fria-Sierra Morones. Currently, validation in the field used semi-structured interviews with the local inhabitants within and around corridors, to identify sites where the puma has been documented. Habitat characteristics in the study area indicate 35% is suitable habitat for puma. On this basis, we identified three potential corridors for the movements of pumas in the Sierra Fría and surrounding mountains, which are not entirely protected. Corridors are located south, southwest and northwest of ANP Sierra Fría, with a length of 3.60, 35 and 44 km, respectively. Of the 86 interviews conducted, 25 verified cougar presence in the first corridor, 29 in the second, and 12 in the third, while the remaining ($n=20$) failed to detect it in places with high human impact. It requires the protection of natural areas with high habitat quality and connectivity to promote stability and long-term survival of populations of cougars in central Mexico and the rest of its distribution.

KEYWORDS: *Puma concolor*, Central México, Connectivity, Fragmented habitat

The transformation of natural habitat through human pressures results in the reduction and isolation of natural areas, making them unsuitable for maintaining viable populations of large carnivores with a wide distribution, such as pumas (Sepúlveda, et al. 1997; Crooks and Sanjayan, 2006). Large carnivores are directly affected because the movement of any species between patches may restrict the access to unevenly distributed resources, consequently increasing their

home range size, which can in turn increase the energy cost for individuals (Jones, 2004). As distance between patches increases, movement between patches becomes hazardous, increasing mortality risk or express different patterns of movement as small quality patches are hard to find (Kindlmann and Burel, 2008). As a consequence, species such as carnivores only survive within a network of habitat patches that remain connected and local extinctions become common (Beier and Noss, 1998, Collinge, 2009).

The puma (*Puma concolor*, Linnaeus) had one of the widest distributions for any mammal in the Americas; currently the re-colonization of former areas where it occurred has been limited because of the loss of connectivity between patches of habitat. Connectivity is defined as the degree to which the landscape facilitates or impedes movement of organisms between habitat patches (Ferrerias, 2001; Rothley, 2005; Kindlmann and Burel, 2008), and is not only dependent on the characteristics of the landscape (structural connectivity), but also on the mobility of organisms (functional connectivity) (Crooks and Sanjayan, 2006).

Habitat loss and fragmentation hinders puma dispersal. As distance between patches increases and landscape connectivity is reduced, gene flow also decreases (Broquet, et al. 2006). Consequently the identification of travel corridors will help us to understand the landscape connectivity for pumas, as they facilitate long-distance movements (LaRue, 2007).

One way to determine dispersal corridors is through a least-cost path analysis. This tool has been used to explain landscape permeability and dispersal for several species. This analysis measures the effective distance between patches of habitat to determine the connectivity of landscapes or reserves (Rothley, 2005). This is important because protected areas should be able to maintain populations of species with large home ranges and allow connectivity to support genetically viable populations (Crooks and Sanjayan, 2006; Sepulveda, et al. 1997).

Least Cost Path Analysis (LCPA) models the relative cost for an animal to move between two areas of available habitat. This technique uses landscape features (such as land use, human population density, roads) and how those features affect the movement path of an animal (LaRue and Nielsen, 2008). This model is developed through a Geographic Information System (GIS), where each cell is assigned a cost value based on various environmental factors that impede or facilitate movement (Crooks and Sanjayan, 2006). The model creates the most likely travel route with the least resistance and shortest distance between two areas of available habitat (LaRue, 2007).

Central Mexico provides a good opportunity to develop and test such models, as the landscape is highly fragmented with isolated populations of pumas subject to anthropological pressure. To test the LCPA model we selected an area encompassing portions of the Mexican States of Aguascalientes and Zacatecas. This area includes three natural protected areas with reduced to no connectivity due to habitat loss. Our aim was to identify least-cost paths between protected natural areas and verify their use by pumas.

STUDY AREA

This study was carried out in central Mexico, on sites adjacent to Sierra Fría and two other protected natural areas (PNA), including portions of the states of Aguascalientes and Zacatecas. The evaluation was carried out on intermediate sites to the northwest, between Sierra Fría and Sierra Morones PNA, and south, between Sierra Fría and Sierra del Laurel PNA (Figure 1). The study area has a temperate arid climate with summer rains. Precipitation ranges from 500 -800 mm with temperatures of 14-22 ° C, The site consists of a system of intermountain valleys surrounded by mountain ranges, deep canyons and mesas (INEGI, 2005).

The vegetation types include oak forest, pine-oak forest, tropical deciduous forest, grasslands and agricultural. Oak species *Quercus eduardii*, *Q. laeta* and *Q. potosina*, occur with juniper (*Juniperus flaccida*) or pinyon pines (*Pinus cembroides*). There are also tropical species such as *Ipomoea intrapilosa*, *I. murucoides*, *Bursera bipinnata*, *Heliocarpus terebinthinaceus*, *Acacia pennatula*, *Acacia farnesiana*, *Tecoma stans*, *Eysenhardtia polystachya*, *Opuntia fuliginosa* and *Mimosa monancistra*. Shrubs include *Arctostaphylos pungens*, *A. polifolia*, *Arbutus glandulosa* and *A. arizonica*. Mammalian species include white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*), bobcat (*Lynx rufus*), gray fox (*Urocyon cinereoargenteus*), coyote (*Canis latrans*), white-nosed coati (*Nasua narica*), raccoon (*Procyon lotor*), ringtail (*Bassariscus astutus*) and collared peccary (*Tayassu tajacu*) (Biodiversidad del Estado de Aguascalientes, 2008).

Human activities have changed the landscape in the study area to satisfy the demand for food, timber, and combustibles; of added importance are rain-fed or irrigated agriculture and livestock grazing. The tropical deciduous forest is subject to deforestation from logging and agave plantations for tequila (Biodiversidad del Estado de Aguascalientes, 2008). Several two-lane highways occur between mountain ranges and protected areas both in Aguascalientes and Zacatecas (INEGI, 2005).

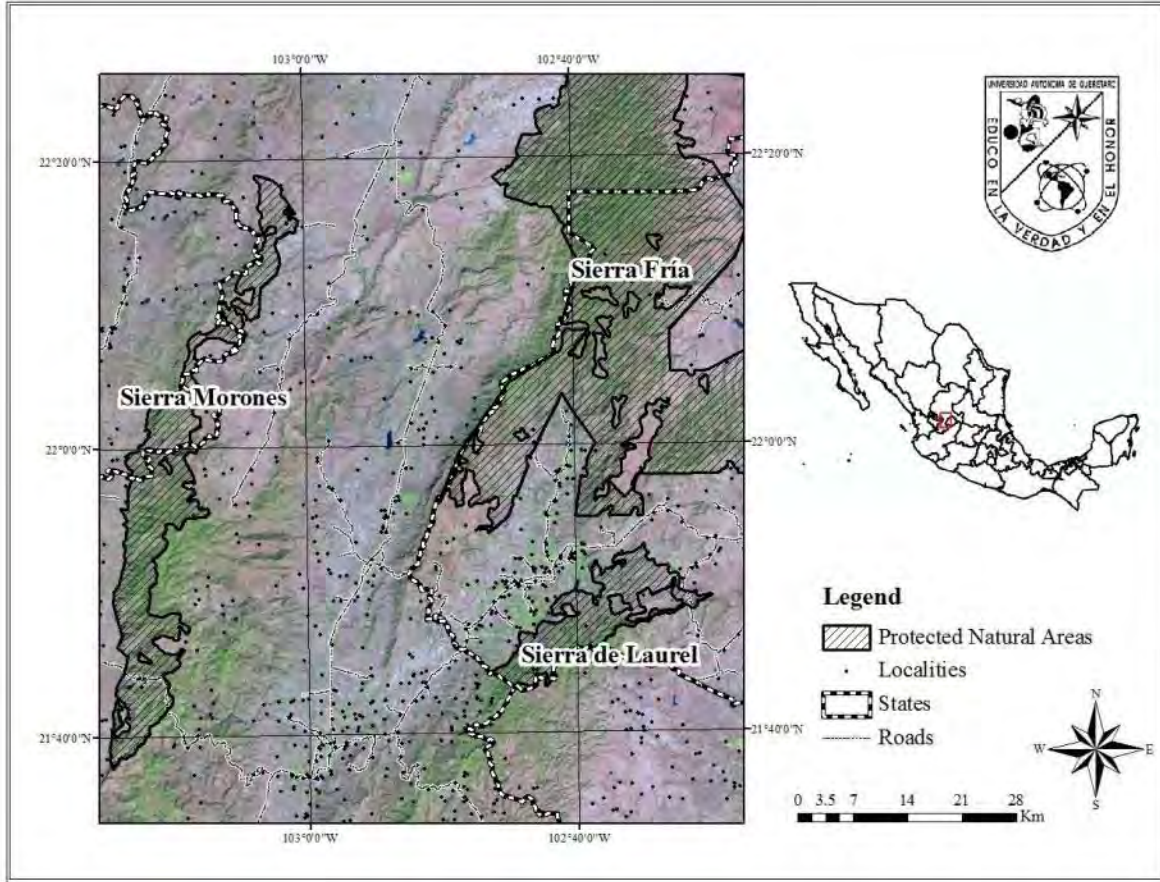


Figure 1. Protected Natural Habitat in Central Mexico, separated by the high human impact on the intermediate valleys.

METHODS

This research was developed in three phases. The first was to make a suitable habitat model for pumas in the study area, followed by a least cost path analysis model, (Beier, et al. 2007 y Majka, et al. 2007) using ArcGis 9.3 and toolbox Corridor Design. Ground truth in the field of the model was performed after.

Habitat Suitability Model

The habitat variables used for the model were topographic position, elevation, land use and vegetation, distance to roads and human population density (Riley and Malecki, 2001; Dickson

and Beier, 2002; Meegan and Maehr, 2002; Dickson, et al., 2005; Dickson and Beier, 2007; Schwab, 2006; Monroy-Vilchis, et al., 2007; Moye, 2007; LauRe and Nielse, 2008). We classified each variable in sub variables based on the characteristics of the landscape in the study area (Table 1). For the sub variables of topographic position was used a digital elevation model (INEGI, 2010), where pixels were classified as follow: *Bottom of the Canyon*: If the pixel has an elevation of at least 12 m lower than the average of neighboring pixels. *Top of the Ridge*: If the pixel has an elevation at least 12 m higher than the average of neighboring pixels. *Gentle Slope*: If the pixel has a slope less than 6 ° *Steep Slope*: If the pixel has a slope greater than 6 ° (Dickson and Beier, 2007).

Table 1. Classification of habitat variables with their respective value of permeability (cost) and score importance of each variable to potential cougar habitat suitability (weight) in central Mexico.

Topography (25%)	Cost	Elevation (15%)	Cost	Distance to Roads (m) (5%)	Cost	Population Density (per/Km ²) (5%)	Cost	Land Use and Vegetation (50%)
Bottom of the Canyon	80	1300-1800	70	0-500	40	0-20	80	Table 2
Gentle Slope	50	1800-2100	80	500-1000	60	20-50	60	
Steep Slope	70	2100-2500	90	1000-3000	70	50-100	40	
Top of the Ridge	100	2500-3100	100	3000-6000	90	100-300	30	
				6000-25000	100	300-700	20	
						700- >1000	10	

The classification of the sub variables of distance to roads was done using Euclidean distance, while the human population density was obtained through Kernel Density tools. The sub variables of land use and vegetation were obtained from the layer series III generated by the National Institute of Statistics and Geography (INEGI, 2005), where a numerical value was assigned to polygons with the same type of vegetation (Table 2).

Table 2. Sub variables of land use and vegetation present in the study area.

No.	Land Use and Vegetation (50%)	Cost
1	Primary Vegetation of Pine Forest	80
2	Primary Vegetation of Pine-Oak Forest	90
3	Primary Vegetation of Oak Forest	100
4	Primary Vegetation of Oak-Pine Forest	100
5	Primary Vegetation of Crasicaule Scrub	60
6	Primary Vegetation of de Mezquite Desert	10
7	Primary Vegetation of Natural Grassland	50
8	Secondary Vegetation Arborea of Oak Forest	90
9	Secondary Vegetation Shrub of Oak Forest	100
10	Secondary Vegetation Shrub of Crasicaule Scrub	50
11	Secondary Vegetation Shrub of Mezquite Forest	10
12	Secondary Vegetation Arborea of Mezquite Forest	10
13	Secondary Vegetation Shrub of Mezquite Desert	10
14	Secondary Vegetation Shrub of Natural Grassland	40
15	Secondary Vegetation Shrub of tropical deciduous forest	70
16	Induced Grassland	10
17	Temporary Agriculture	30
18	Irrigated Agriculture	20
19	Water Bodies	20
20	Human Settlements	10
21	Urban Area	10
22	Secondary Vegetation Shrub of Tascate Forest	10
23	Secondary Vegetation Shrub of Pine-Oak Forest	10
24	Secondary Vegetation Shrub of Oak-Pine Forest	10

Once classified, each sub variable was assigned a value of habitat availability which was determined from a literature review of puma habitat requirements where: Suitable habitat (80 to 100), suboptimal habitat (60 to 79), occasional use (40 to 59) and unsuitable habitat (< 39). Likewise, we assigned a weight to each variable, with a greater preference for high representing the puma. The weights must equal 100% (Beier, et al. 2007).

To create the model we used the tool HSM 1-*Create habitat suitability model* in the toolbox Corridor Design, which combines and reclassifies two to six different habitat factors

based on their availability. This was done using the geometric mean algorithm, to obtain a single availability value for each pixel.

$$\text{Permeability} = \Pi (S_n^{W_n})$$

Where each S_n is the cost score for variable n , W_n is the weight for that variable and Π mean “multiply the n terms”. Once generated, the model calculates the percentage of suitable and unsuitable habitat for the puma in the area of study.

Least – Cost Path Model

This model was generated in two phases. The first was between Sierra Fría PNA and Sierra del Laurel PNA, while the second was to the Sierra Morones PNA. For this, we used the tool *Create corridor model* of the toolbox Corridor Design. We established as the connecting habitat block the polygons designed by the National Commission of Protected Natural Areas (CONANP).

Also for each interaction, was used as a base model suitable habitat (map of permeability), which was created a cost raster (map of resistance), which associates the favorable habitat with lower pixel values and thus, lower cost of movement across the landscape. The model generates a corridor with 11 bands of different permeability percent (0.1, 10 to 100%), where permeability ranges from high (0.1 %) to low (100 %). The bands with higher permeability were characterized to obtain length, area, percentage of suitable and unsuitable habitat, road length and narrow points of the corridor, taking into account a threshold of 500 meters (Beier, 1995).

Field Validation

For corroboration of the model, semi-structured interviews were conducted with the inhabitants of towns located within and outside the corridors, considering only those with more than 50

residents and people over 25 years, preferably peasants, because they are more in contact with the environment. We were particularly interested in determining those areas involving puma sightings, and spoor (tracks, scats and scrapes). As a test to assess the reliability of the sighting a plate that included several species of Mexican and African felids was shown to any interviewed person. Of the information gathered, analyzed the frequency, distance to the towns, and season in which they have been observed. For different puma records were considered records obtained in both interviews and collected by biologists from the University of the State of Aguascalientes.

RESULTS

Habitat Suitability Model and Least-Cost Model

The model developed included 35% of good quality habitat for the puma, concentrating mainly on protected areas, while 65% was not adequate (Figure 2). We generated a cost raster for each interaction (Figure 3A, 3B) and detected three least-cost paths for the puma. One was south of the Sierra Fría NPA and two were north-west of this location. The first two corridors were detected at the minimum permeability percent (0.1%), while the third was at 60%; this is because it has a greater distance (Figure 4). Of the three corridors, the least distance and best quality habitat was between Sierra Fría-Sierra de Laurel PNAs (Table 3). The second corridor, Sierra Fría-Sierra Morones, had greater distance and reduced quality of habitat, as almost half of it was very narrow and comprised of unsuitable habitat. Because of this, we considered an adjacent strip of permeability (10%) as part of the corridor, resulting in a wider corridor with more area and higher habitat quality. The third corridor was longer but had better quality of habitat. It was also very narrow, so we again considered a second strip of permeability (70%) as part of the corridor (Table 4). The amount of unsuitable habitat in this corridor increased and was distributed along the corridor as small patches within a matrix of suitable habitat.

Table 3. Habitat characteristics of each corridor. LCP = Least – Cost Path, C1= corridor 1, C2= corridor 2, C3= corridor 3.

LCP	Permeability (%)	Length (Km)	Area (Km ²)	Suitable Habitat (%)	Unsuitable Habitat (%)
C1	0.1	3.60	12	86	14
C2	0.1	35	13	59	41
	10	31	123	86	14
C3	60	44	38	91	9
	70	43	77	88	12

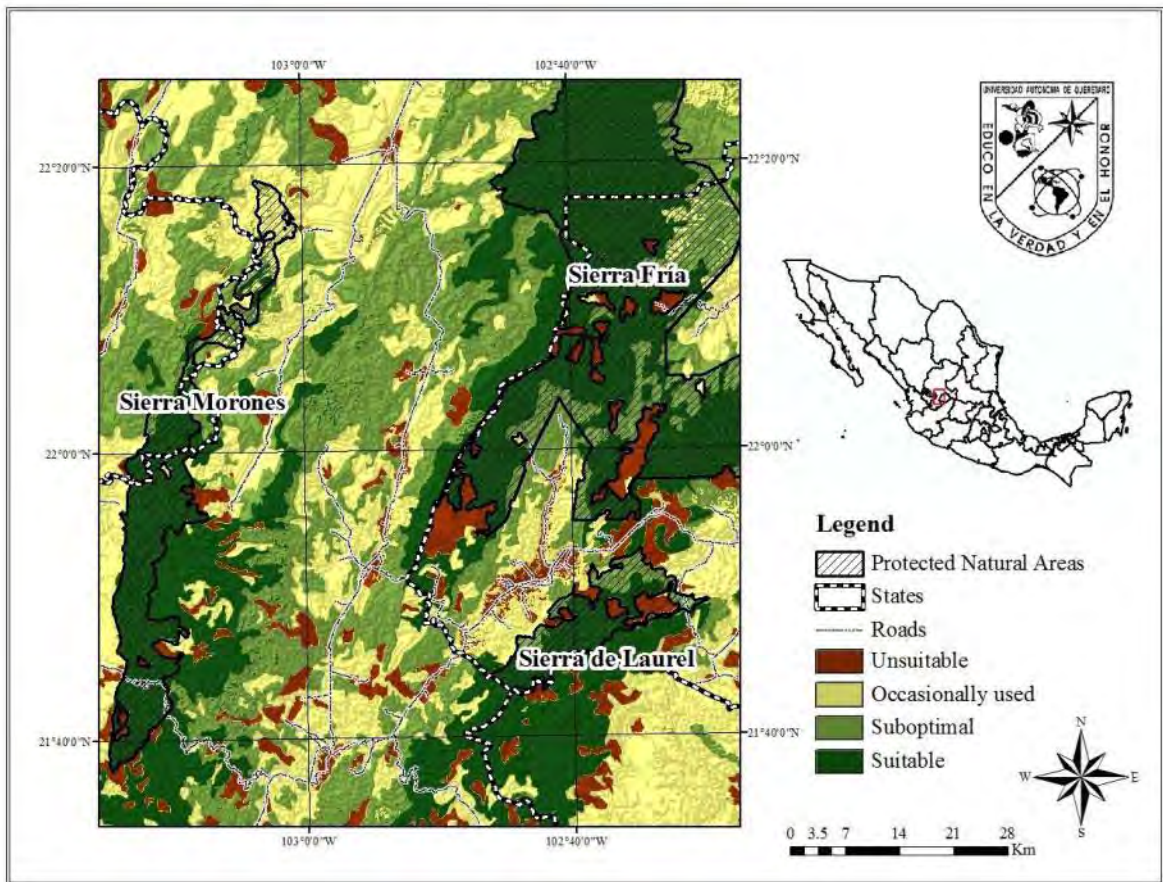
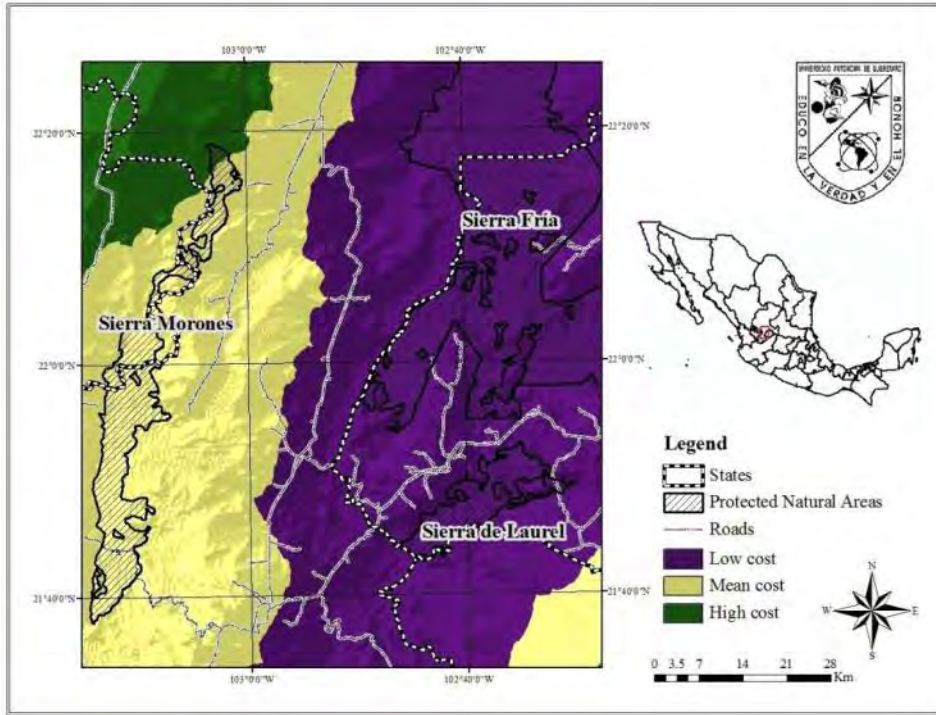
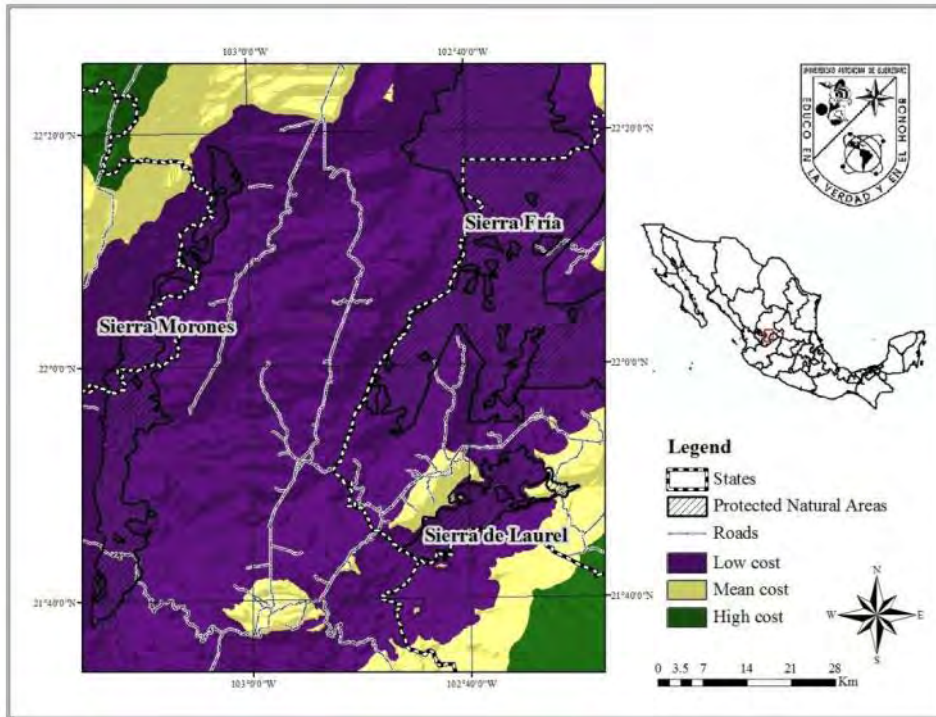


Figure 2. Habitat Suitable Model. The green areas are high quality habitat for cougar and brown are areas of high human impact.



A



B

Figure 3. Cost Raster. A) Interaction between Sierra Fría PNA to Sierra del Laurel PNA. B) Interaction to Sierra Morones PNA.

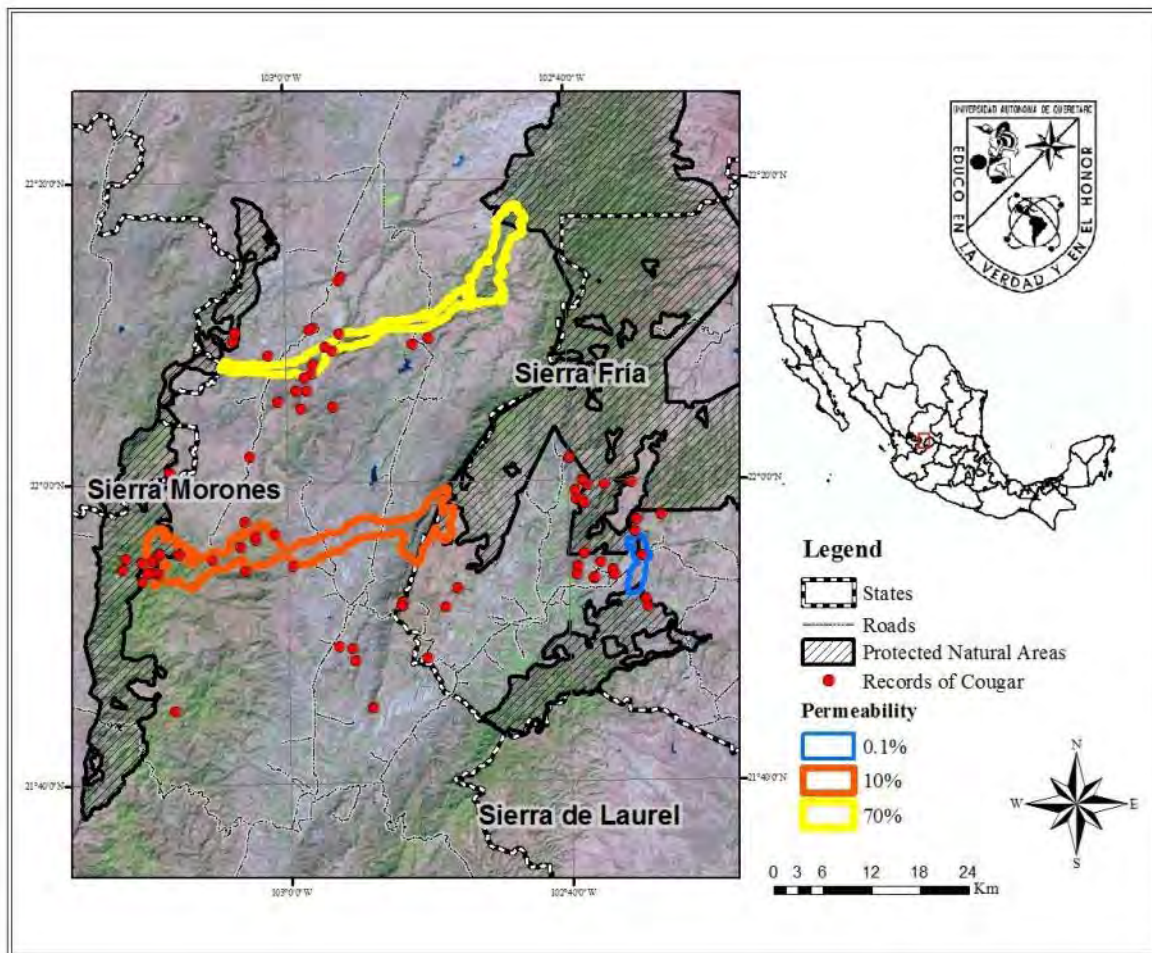


Figure 4. Least- Cost Paths with different permeability percentage between protected areas where puma presence was detected from records obtained by biologists and through interviews.

Table 4. Statistics narrow points of each corridor with different permeability percentages. NSA and NSB = Narrow Spot Above and Below the threshold (500 m).

Statistic	C1	C2	C3
Permeability (%)	0.1	10	70
NSA (%)	100	100	100
NSB (%)	-	87	27
Minimum Width*	1.02	0.07	0.11
Maximum Width*	1.87	3.96	3.36
Mean Width*	1.53	2.02	1.23
Standard Deviation of Width*	0.26	0.59	0.27

*Km

The three corridors are traversed by a two-lane federal highway, where the highest traffic flow occurs during the day. However, the corridors linking the Sierra Fría PNA with Sierra Morones PNA are also crossed by a municipal road (second corridor) and two state roads (third corridor), which have low traffic flows (Table 5).

Table 5. Length of roads crossing least-cost paths for pumas between natural protected areas.

LCP	Permeability (%)	Roads	Length (Km)
C1	0.1	Libre Federal Aqs. - Jalpa	1.89
		Libre Federal Gdl. – Zac.	0.39
C2	0.1	Libre Municipal Ramal-Cosalima	0.32
		Libre Federal Gdl. – Zac.	1.95
	10	Libre Municipal Ramal-Cosalima	2.77
		Libre Federal Gdl. – Zac.	0.84
C3	60	Estatad Ramal-Joaquín Amaro	0.69
		Libre Federal Gdl. – Zac.	1.72
	70	Estatad Ramal-Joaquín Amaro	1.48
		Estatad Libre Ramal-Col A. López Mateos	0.40

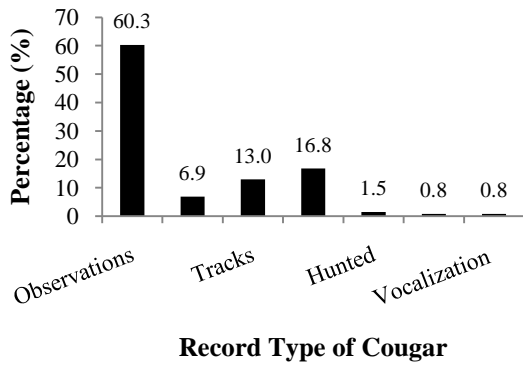
Field Validation

We surveyed a total of 50 localities and obtained a total of 86 interviews, where 76.9% verified puma presence. Of the total interviewed, 25 verified puma presence in the first corridor, 29 in the second, and 12 in the third, while the remaining ($n=20$) failed to detect it (Figure 4). We were unable to carry out any interviews in the state of Zacatecas due to drug cartel activity. Puma records included sightings, claws, scats, and meat from a cougar, deer caches and puma carcass. The data obtained in the interviews documented the presence of pumas in the area between one to three years ago or older than three years. Pumas were mostly observed less than one kilometer

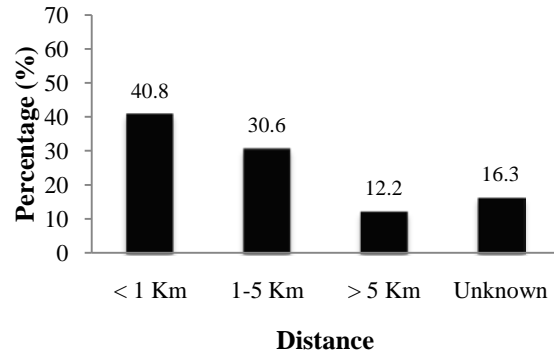
away from the locality where people were interviewed, followed by one to five kilometers.

Additionally we found no significant difference between the wet and dry season (Figure 5).

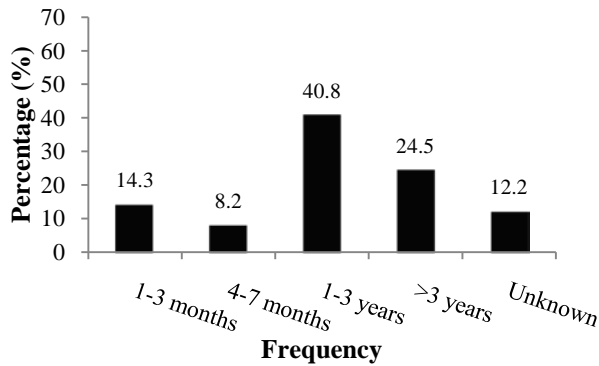
A



C



B



D

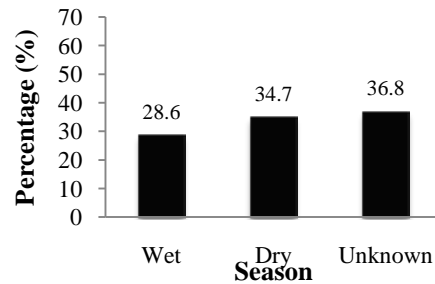


Figure 5. A) Record Types for the presence of cougar obtained by biologist and interviews. B) Frequency of records. C) Distance to towns. D) Season records.

DISCUSSION

The puma has a broad geographical distribution throughout most of the Americas, from central Canada to southern Chile and Argentina (López-González & González-Romero, 1998; Hemes 2004; Caso, et al., 2008), where most of the information on their ecology, behavior, and habitat use is concentrated in the United States and Canada (Hornocker and Negri, 2010). In Mexico there are very few studies that consider puma habitat use (Monroy-Vilchis, et al. 2007; Rodriguez-Soto, 2007) but little is known about the interaction between the landscape structure and movements of pumas, so this work is the first in Mexico to determine the functional connectivity of the landscape through the identification and description of dispersal corridors for pumas.

Understanding in detail the habitat of the puma is necessary to predict patterns of dispersal across the landscape (Shrader-Frechette, 2004). It also is an indirect way of conserving this species, by identifying the habitat characteristics required (Cougar Management Guidelines Working Group, 2005) in order to generate information on the areas and resources that influence physical activity (fitness) of individuals and population viability (Land, et al. 2007). This is reflected in the results of the habitat model showing that the study area still has good habitat (35%) that is able to support viable populations of pumas, focusing on protected areas, which, over time are more separated, due to loss of habitat to its surroundings.

More than half of the study area (65%) is highly impacted by human activities such as agriculture or urbanization. These activities are deteriorating and fragmenting large areas of habitat in the intermountain valleys and and gentle hills found between PNAs, creating a mosaic of patches of different sizes (Chapa- Bezanilla, et al. 2008). The identification of small patches of habitat between habitat block is of utmost important as these may serve as sinks (Sweanor et

al., 2000; Laundré and Clark, 2003; Hornocker and Negri, 2010). Such is the case for the only potential breeding patch identified in this study, because areas $<100 \text{ km}^2$ are too small to be biologically self-sufficient and are considered sinks because of the small number of residents (Laundré and Clark, 2003) as a breeding pair in courtship or to pumas young age of dispersal (Majka, et al. 2007; Beier, et al. 2010).

Dispersal movements are usually made through suitable habitat (Hornocker and Negri, 2010), that is not always continuous, so pumas are forced to cross unsuitable areas quickly, using very small patches as stepping stones (Beier et al. 2007; Hornocker and Negri, 2010). This may facilitate the movement of pumas through a fragmented landscape, as identified in the model. Such patches were not identified within the corridors, However, small patches of unsuitable habitat were detected within a matrix of suitable habitat. This is no great problem for the puma, as they have been found using corridors located in areas with high human impact (Beier, 1993).

Landscape connectivity and robustness of a source population are essential for maintaining population stability and a metapopulation structure in the puma (*Cougar Management Guidelines Working Group*, 2005; Hornocker and Negri, 2010). Consequently, the identification and protection of natural areas with high quality habitat where land use is regulated and safe for a source population of cougars is necessary to ensure the persistence of puma populations. There are protected areas as Sierra Fria where both natural and anthropogenic disturbance has led to fragmentation of forest in areas with gentle slopes and surrounding areas (Chapa-Bezanilla, et al. 2008). These regions are apparently becoming isolated, threatening the stability of puma populations, that by occupying small areas or large isolated regions, have a high risk of being removed. As a result, both pumas and their prey require corridors to allow dispersal among areas (Cougar Management Guidelines Working Group, 2005)

The results of the LCP show that functional connectivity exists between the Sierra Fría PNA to adjacent protected areas (Sierra de Laurel and Sierra Morones). We identified three dispersal corridors that are used by pumas to move between patches of habitat. This agrees with Crooks and Sanjayan (2006) and Sepulveda, et al. (1997), who mentioned that protected areas should have high connectivity to maintain genetically viable populations of animals with a wide distribution as the puma. For a network of patches, can combine landscape patterns with species metapopulation dynamics to better understand the influence of fragmentation on the persistence of populations such as the puma (Baggion et al., 2011)

To understand the movement in networks of patches, it is necessary to identify potential dispersal corridors, which connect to two or more blocks of habitat, facilitating the movement of species across the landscape (Beier and Noss, 1998; Collinge, 2009). However, due to increasingly greater distances between patches because of habitat loss, as among the protected areas of central Mexico, the puma will find it more difficult to cross from one patch to another, and face a high risk death of being caught or hit by a vehicle. The identification of least cost paths will help us understand landscape permeability for large carnivores such as pumas and acknowledge the effort that an individual has to exert to move between patches of habitat (Adriaensen, et al. 2003, LaRue and Nielsen, 2008).

These movements are usually performed by young pumas from their natal areas in order to establish territories or by adults to reproduce or go in search of food (Logan and Sweanor, 2001; Hornocker and Negri, 2010). The mean dispersal distance for males estimated by Beier (1995) is 63 km, while the rank of the analysis of eight studies in the western United States and Canada is 49 to 483 km (Hornocker and Negri, 2010). As the length of the three corridors (3.60, 31 and 43 km) designed among protected areas of central Mexico is short in relation to dispersal

distances of male pumas, which typically disperse greater distances than females, we can infer that they do not represent large energy costs for mobility, provided the profile to be the least cost paths.

Of the three corridors, the smallest connects Sierra Fría with Sierra de Laurel (12 Km²). This represents a good corridor because it has high quality habitat (86%) and its narrowest point is 1.02 km, conditions favoring the movement of pumas between sierras. Beier (1995) suggests that the corridors used by pumas with distances from 1 to 7 km must be over 400 m wide. In contrast to this corridor, the first strip of the second and third corridor (southeast and northeast of Sierra Fria) have more than half of the habitat in good condition (59 and 91%) but are not very favorable for puma movement because 87% and 73%, respectively, of these are very narrow (<500 m). This agrees with Collinge (2009), who mentions that some animal species like the puma actively avoid corridors that are not wide enough. So it was necessary to consider as part of the corridors, a second strip of permeability (10 and 70%) by increasing its width to exceed the threshold, making them suitable corridors for puma movement. It can be inferred that corridors 31-44 km in length must be more than one kilometer wide.

An additional impact on the landscape is the presence of roads between patches of habitat, which directly increases the mortality of animals that move from one patch to another due to their large spatial requirements for survival (Gloyne & Clevenger, 2001; Hornocker and Negri, 2010). Which, was not reflected in this work, for any two-lane roads that cross through the corridors, it is highly transited by night, so it can be said to pose no threat to pumas, because to date there has been no incidents collisions with vehicles..

The design of corridors through geographic information systems is a way to infer puma movements across the landscape (Rabinowitz and Zeller, 2010; Cougar Management Guidelines

Working Group, 2005) so its validation in the field helps us better understand the importance of these corridors. There are different ways to validate a model, from the most effective but more expensive methods of using GPS collars or camera traps to the most economical as searching for sign or conducting interviews with local residents about the presence of puma (Land et al. 2007; Collinge, 2009). Validation of corridors is not only recommended within the corridors, but also in disturbed areas, in order to ensure that the puma is not displaced by these sites (Naranjo - Piñera, Pers. Com.). Based on this, our findings through interviews we conducted within the corridors confirm that pumas use the least cost paths to move between protected areas and indicates pumas are not using areas highly impacted by humans, at least in the state of Aguascalientes. This could not be verified for the state of Zacatecas because of the current threats from drug trafficking.

The application of interviews reflected not only puma presence (Rabinowitz and Zeller, 2010), but also provided information on puma biology and behavior around anthropological activities. This was demonstrated in scores of interviews, where pumas are seen or detected one to three or more years in the corridors, possibly due to young pumas leaving their natal areas to disperse to other areas (Logan and Sweanor, 2001). During dispersal moves, is likely that pumas face barriers such as roads or urban areas, with the risk of being killed (Logan and Sweanor, 2001; Hornocker and Negri, 2010). However, the interview data show that the pumas did not avoid areas where the total population was > 50 inhabitants. This does not mean they are not at risk, as there are people who, due to lack of economic resources, hunt pumas for fat, meat, or skins to survive (Don Santos, Pers. Com.).

Protected areas are considered source populations if they are large enough and experience low human pressure (Laundré and Clark, 2003). As this work is an initiative to begin to assess

puma metapopulation dynamics by identifying dispersal corridors between protected natural areas because they are less likely to be altered and are able to provide dispersal links to sink areas (Laundré and Clark, 2003). Also, this work contributes to and complements the scarce information on cougar populations in Latin America (Hornocker and Negri, 2010).

On the other hand, this work shows a way to identify areas with high habitat quality that are not under any protected status and used by umbrella species like the puma. Such was the case, to identify records in a small mountainous region located between protected areas Sierra Fría and Sierra Morones, which may disappear if you do not have a control over human activities in the area. As the study of cougars may generate information for conservation strategies that benefit the most species, they help to establish limits on human activities that degrade key areas as corridors (Hornocker and Negri, 2010). In addition, it can be an important tool to make proposals to extend protected areas, not only ensuring the conservation of cougar populations but from many species and the same landscape.

ACKNOWLEDGMENTS

I want to thank Dr. Eduardo Naranjo Piñera and Dr. Robert W. Jones that enriched with their knowledge this work. To Universidad Autónoma de Querétaro and Universidad Autónoma de Aguascalientes. To Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) and Instituto Mexicano del Transporte (IMT) by facilitation of geographic information. Likewise, to Biodiversity Conservation for Central Mexico, A.C. and Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas (CONANP), for their support during field trips and Environmental Management Unit “Sierra Morones” for providing information and hospitality.

LITERATURE CITED

- Adriaensen, F., J. P. Chardon, G. De Blust, E. Swinner, S. Villalba, H. Gulinck and E. Matthysen. 2003. The Application of Least-Cost Modelling as a Functional Landscape Model. *64*:233-247
- Baggio, J. A., K. Salau, M. A. Janssen, M. L. Schoon and O. Bodin. 2011. Landscape Connectivity and Predator-Prey Population Dynamics. *Landscape Ecology* 26:33-45
- Beier, P. 1993. Determining Minimum Habitat Areas and Habitat Corridors for Cougars. *Conservation Biology*. 7 (1): 94-108
- Beier, P. 1995. Dispersal of Juvenile Cougars in Fragmented Habitat. *Journal of Wildlife Management*. 59(2):228-237.
- Beier, P. and F. Noss. 1998. Do Habitat Corridors Provide Connectivity?. *Conservation Biology*, 12 (6): 1241-1252
- Beier, P., D. Majka and J. Jenness. 2007. Conceptual Steps for Designing Wildlife Corridors. Corridordesign.org
- Broquet, T., N. Ray, E. Petit, J. M. Fryxell and F. Burel. 2006. Genetic isolation by distance and landscape connectivity in the American marten (*Martes americana*). *Landscape Ecology* 21:877-889
- Caso, A., Lopez-Gonzalez, C., Payan, E., Eizirik, E., de Oliveira, T., Leite-Pitman, R., Kelly, M., Valderrama, C. & Lucherini, M. 2008. Puma concolor. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.4. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 30 May 2011.
- Chapa-Bezanilla, D., J. S. Ramírez y A. A. Ávila. 2008. Estudio Multitemporal de Fragmentación de los Bosques en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Madera y Bosques*. 14(1): 37-51
- Cougar Management Guidelines Working Group. 2005. Cougar management guidelines. WildFutures, Bainbridge Island, WA.
- Crooks, K. R. and M. Sanjayan. 2006. Connectivity Conservation. Conservation Biology Book Series, Cambridge University Press. US. 712 Pag.
- Dickson, B.G. and P. Beier. 2002. Home-Range and Habitat Selection by Adult Cougars in Southern California. *Journal of Wildlife Management*. 66(40):1235-1245
- Dickson, B.G., J.S. Jenness and P. Beier. 2005. Influence of Vegetation, Topography, and Roads on Cougar Movement in Southern California. *Journal of Wildlife Management*. 69(1):264-276
- Dickson, B.G. and P. Beier. 2007. Quantifying the Influence of Topographic Position on Cougar (*Puma concolor*) Movement in Southern California, USA. *Journal of Zoology*. 271:270-277

- Ferreras, P. 2001. Landscape Structure and Asymmetrical Inter-patch Connectivity in a Metapopulation of the endangered Iberian lynx. *Biological Conservation* 100: 125-136
- Gloyne, C.C. & Clevenger, A.P. 2001: Cougar *Puma concolor* use of wildlife crossing structures on the Trans-Canada highway in Banff National Park, Alberta. - *Wildl. Biol.* 7: 117-124.
- Hermes, C. M. S. 2004. Abundancia Relativa del Jaguar (*Panthera onca*), Puma (*Puma concolor*) y Ocelote (*Leopardus pardalis*) en el Parque Nacional de Laguna Lachúa, Coban, Alta Verapaz. Tesis. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Hornocker, M. and S. Negri. 2010. *Cougar Ecology & Conservation*. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA. 306 pp.
- INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Calvillo, Aguascalientes, Clave geoestadística 01003. 6 p.
- INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Huanusco, Zacatecas, Clave geoestadística 32018. 5 p.
- INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tabasco, Zacatecas, Clave geoestadística 32044. 6 p.
- INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Villanueva, Zacatecas, Clave geoestadística 32055. 6 p.
- Jones, A. P. 2004. Graph-theoretic Modeling of Functional Habitat Connectivity for Lynx on the Okanogan Highlands, Northern Washington. Thesis. Montana State University.
- Kindlmann, P. and F. Burel. 2008. Connectivity Measures: a Review. *Landscape Ecology*. 23:879-890.
- La Biodiversidad en Aguascalientes: Estudio de Estado. 2008. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes (IMAE), Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA). México.
- Land, E. D., D. B. Shindle, R. J. Kawula, J. F. Benson, M. A. Lotz and D. P. Onorato. 2007. Florida Panther Habitat Selection Analysis of Concurrent GPS and VHF Telemetry Data. *Management and Conservation*. 72 (3) 633-639
- LaRue, M. A. 2007. Predicting Potential Habitat and Dispersal Corridors for Cougars in Midwestern North America. Thesis. Southern Illinois University Carbondale
- Laundré, J. W., and T. W. Clark. 2003. Managing puma hunting in the western United States: Through a metapopulation approach. *Animal Conservation*. 6:159-70.
- LauRe, M.A. and C.K. Nielsen. 2008. Modelling Potential Dispersal Corridors for Cougars in Minwestern North America Using Least-Cost Path Methods. *Ecological modelling* 212: 372-381.
- López-González, C. A. & A. González-Romero. 1998. A Synthesis of Current Literature and Knowledge about the Ecology of the Puma (*Puma concolor* Linnaeus). *Acta Zoológica Mexicana (Nueva serie)* 75:171 – 190 pp.

- Majka, D., P. Beier and J. Jenness. 2007. Corridor Designer ArcGIS Toolbox Tutorial. Corridordesign.org
- Meegan, R.P. and D.S. Maehr. 2002. Landscape Conservation and Regional Planning for the Florida Panther. *Southeastern Naturalist*. 1(3): 217-232
- Monroy-Vilchis, O., C. Rodríguez-Soto, M. Zarco-González y V. Urios. 2007. Distribución, Uso de Hábitat y Patrones de Actividad de Puma y Jaguares en el Estado de México. AMMAC. 9° Congreso de Mastozoología: Mamíferos de México un Reto de Conservación Presente y Futuro. Autlan de la Grana, Jalisco. 51 Pág.
- Moye, V. P. 2007. Habitat Suitability Analysis for Mountain Lion (*Puma concolor*) on the Southern Cumberland Plateau. Thesis. University of the South
- Rabinowitz, A. and K. A. Zeller. 2010. A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological Conservation* 143, 949-945
- Riley, S.J. and R. A. Malecki. 2001. A landscape analysis of cougar distribution and abundance in Montana, USA. *Environmental Management* 28(3) 317-323
- Rodriguez-Soto, C. 2007. Distribución y Uso de Hábitat de Felinos en la Sierra Nanchititla, Estado de México. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Rothley, K. 2005. Finding and Filling the “Cracks” in Resistance Surfaces for Least-cost Modeling. *Ecology and Society* 10(1): 4.
- Schwab, A. C. 2006. The Influence of Roads on the Florida Panther. Thesis. University of South Florida.
- Sepulveda, C., A. Moreira y P. Villarroel. 1997. Conservación Biológica Fuera de las Áreas Silvestres Protegidas. *Ambiente y Desarrollo*. 8 (2): 48 - 58.
- Shrader-Frechette, K. 2004. Measurement Problems and Florida Panther Models. *Southeastern Naturalist*. 3(1):37-50
- Sweaner, L. L., K. A. Logan, M. G. Hornocker. 2000. Cougar Dispersal Patterns, Metapopulation Dynamics, and Conservation. *Society for Conservation Biology*. 14 (3) 798-808
- Sweaner, L. L., K. A. Logan. 2001. Desert Puma, Evolutionary Ecology and Conservation of and Enduring Carnivore. Hornocker Wildlife Institute. Island Press. 464 p.